



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu

Baigiamasis magistro projektas

Justinas Sendrauskas

Projekto autorius

Doc. dr. Linas Miknius

Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Konsultantai:

Prof. dr. Irena Pekarskienė

Finansiniai ir ekonominiai
skaičiavimai

Doc. dr. Dalia Nidzevičienė

Darbuotojų sauga ir sveikata

Prof. dr. Gintaras Denafas

Aplinkosauginis vertinimas

Lekt. dr. Odeta Viliūnienė

Statybiniai sprendimai

Justinas Sendrauskas

Projekto autorius

Doc. dr. Linas Miknius

Vadovas

Doc. dr. Birutė Grybaitė

Recenzentė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Justinas Sendrauskas

Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Justinas Sendrauskas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanė
Prof. dr. V. Kitrytė-Syrpa

Suderinta:
Organinės chemijos katedros vedėja
Prof. dr. Eglė Arbačiauskienė
2025 m. balandžio mėn. 11 d.

Dekano potvarkis Nr. V25-02-22
2025 m. gegužės 20 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – suprojektuoti nuolatinio veikimo plastiko atliekų pirolizės įrenginį, perdirbančio 35 000 t/m žaliavos.

Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

1. Apžvelgti plastiko pirolizės, gaminant skirtingos paskirties produktus, mokslinę ir technologinę literatūrą.
2. Ištirti skirtingų rūšių plastiko pirolizės procese gaunamų produktų sudėties priklausomybę nuo proceso parametrų.
3. Sudaryti gamybos įrenginio masės, šilumos balansus.
4. Atlikti konstrukcinius, šiluminius, technologinius, statybinis, ekonominius skaičiavimus.
5. Aptarti saugaus darbo priemones, atlikti aplinkosauginį vertinimą.

A1 formate pateikti: sklypo planą, technologinę schemą, statybinis brėžinius.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanų 2024 m. kovo 06 d. potvarkiu Nr. V25-02-10 patvirtintuose „Pirmosios pakopos studijų programos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos studijų programos Chemijos inžinerija baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovas

doc. dr. Linas Miknius

2025-02-01

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Justinas Sendrauskas

(studento vardas, pavardė)

2025-02-01

(parašas, data)

Sendrauskas Justinas. Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Linas Miknius; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerijos mokslai, Chemijos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: plastikų atliekos, pirolizės alyva, pirolizė.

Kaunas, 2025. 61 p.

Santrauka

Baigiamojo magistro darbe pateiktas plastiko atliekų pirolizės įrenginio, perdirbančio 35 000 tonų per metus plastiko atliekų projektavimas. Apžvelgta plastiko pirolizės mokslinė ir technologinė literatūra, ištirta skirtingų rūšių plastiko pirolizės procese gaunamų produktų sudėties priklausomybė nuo proceso parametrų. Sudarytas gamybos įrenginio masės ir šilumos balansas. Atlikti konstrukciniai, šiluminiai, technologiniai, statybiniai bei ekonominiai skaičiavimai. Aptartos saugaus darbo priemonės ir atliktas aplinkosauginis vertinimas. Sklypo planas, technologinė schema ir statybiniai brėžiniai pavaizduoti A1 formate.

Sendrauskas Justinas. Recycling of Plastic Waste by Pyrolysis. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. prof. Linas Miknius; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Chemical Engineering.

Keywords: plastic waste, pyrolysis oil, pyrolysis.

Kaunas, 2025. 61.

Summary

This final master project presents the design of 35 000 tons per years capacity plastic waste pyrolysis unit. During this final project, analysis on scientific and technological literature on plastic pyrolysis was conducted, and the dependence of the composition of products obtained during the pyrolysis of different types of plastic on process parameters were investigated. Mass and energy balance for the main process reactor was fully developed. Structural, thermal technological constructional, and economic calculations were performed. Occupational safety measures were fully determined, and environmental impact assessment (EPA) was carried out. Drawings for the site plan, main unit and technological scheme were provided in A1 format.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Pirolizės procesas	14
1.1.1. Lėtosios pirolizės procesas	15
1.1.2. Greitosios pirolizės proceso metodas	15
1.1.3. Greitosios katalizinės pirolizės proceso metodas	15
1.1.4. Proceso žaliava	15
1.2. Plastiko atliekos Lietuvoje	15
1.2.1. Plastikų, įskaitant pakuotes, atliekų kiekiai.....	16
1.2.2. Pakuočių, pakuočių atliekų ir antrinių žaliavų kiekiai	16
1.2.3. Bendrųjų mišriųjų komunalinių atliekų kiekis	17
1.2.4. Bendras HDPE, LDPE ir PP plastiko kiekis Lietuvoje	18
1.3. Pirolizės proceso reaktorių tipai	18
1.3.1. Reaktorius su fiksuoto katalizatoriaus sluoksniu	19
1.3.2. Reaktorius su pseudoverdančio katalizatoriaus sluoksniu	19
1.3.3. Cirkuliuojančio pseudoverdančio sluoksnio reaktorius.....	20
1.4. Katalizatorių naudojimas pirolizės reakcijai	20
1.4.1. Ceolitiniai katalizatoriai	21
1.4.2. Panaudotas katalizinio krekingo katalizatorius	21
2. Tiriamoji dalis.....	22
2.1. Proceso žaliava ir pagrindinės medžiagos	22
2.2. Tyrimo metodika	23
2.3. Tyrimo rezultatai	23
3. Inžinerinė dalis.....	28
3.1. Technologinė dalis.....	28
3.1.1. Bendrosios technologinės schemos aprašymas	28
3.1.2. Žaliavinių srautų cheminė sudėtis, medžiagų ir šilumos balanso skaičiavimai	30
3.1.3. Geometrinių duomenų skaičiavimas	33
3.2. Statybiniai sprendimai	34
3.2.1. Bendrieji duomenys.....	34
3.2.2. Bendrųjų statinio inžinerinių sistemų, technologinės įrangos sprendimai	35
3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	35
3.3.1. Projektuojamo technologinio įrenginio įrengimų bei statybos kaštai	36
3.3.2. Gamybos kaštai	36
3.3.3. Netiesioginiai gamybos kaštai	39
3.3.4. Veiklos kaštai	39
3.3.5. Gaminių vertės skaičiavimas	39
3.3.6. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai.....	40
3.3.7. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita.....	40
3.3.8. Diskontuoti pinigų srautai ir investicijų atsipirkimo laikotarpis	41

3.3.9. Ekonominių rodiklių skaičiavimas	42
3.3.10. Lūžio taško skaičiavimas.....	43
3.3.11. Pagrindiniai ekonominiai rodikliai	44
3.4. Aplinkosauginis vertinimas	45
3.4.1. Bendrieji duomenys.....	45
3.4.2. Atliekų tvarkymas	47
3.4.3. Fizikinė tarša	48
3.4.4. Biologinė tarša.....	48
4. Darbuotojų sauga ir sveikata	51
4.1. Projektuojamo objekto charakteristika	51
4.2. Profesinės rizikos vertinimas ir saugios gamybos vykdymas	51
4.3. Reikalavimai darbo higienai.....	54
4.3.1. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose	54
4.3.2. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas.....	54
4.3.3. Triukšmas darbo vietoje	55
4.4. Gaisrinė sauga	55
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58
Priedai.....	61

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Plastiko atliekų prognozė 2025–2040 M. (tūkst. t.) [7].....	16
2 lentelė. HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekių esančių plastikų, įskaitant pakuotes, atliekose prognozė [7, 8]	16
3 lentelė. HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekių esančių pakuotėse, pakuočių atliekose ir antrinėse žaliavose prognozė [7, 8].....	17
4 lentelė. HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekių, esančių bendrosiose mišriosiose komunalinėse atliekose, prognozė [7, 8, 9]	17
5 lentelė. Proceso žaliavos prognozės duomenys	18
6 lentelė. Pirolizės proceso bandymams naudotos proceso žaliavos charakteristikos	22
7 lentelė. Katalizatoriaus, naudoto bandymams, savybės	22
8 lentelė. PE (polietileno) produktų išeigos priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos.....	24
9 lentelė. PP (polipropileno) produktų išeigos priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos .	26
10 lentelė. Proceso žaliavos sudėtis	30
11 lentelė. Pirolizės proceso produktų išeiga	30
12 lentelė. Reaktoriaus R-2 masės srautų balansas	31
13 lentelė. Reaktoriaus R-2 šilumos srautų balansas	32
14 lentelė. Katalizatoriaus regeneratoriaus šilumos srautų balansas	32
15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai	34
16 lentelė. Pagrindiniai duomenys įrenginio projektavimui	34
17 lentelė. Priimtas projektuojamo įrenginio darbo dienų skaičius	35
18 lentelė. Kapitalinių kaštai technologinio įrenginio įrangai įsigyti	36
19 lentelė. Su technologinio įrenginio statyba susijusios išlaidos	36
20 lentelė. Pagrindinių medžiagų poreikio, išlaidų planas.....	37
21 lentelė. Tiesioginės elektros energijos išlaidos	37
22 lentelė. Vandens garo, aušinimo vandens išlaidos	37
23 lentelė. Tiesioginiai kaštai, susiję su įrenginio planiniu remontu	38
24 lentelė. Gamybos kaštai ir išlaidos darbuotojams	38
25 lentelė. Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas	38
26 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui (buičiai).....	39
27 lentelė. Veiklos sąnaudos	39
28 lentelė. Gaminių kainos apskaičiavimas	39
29 lentelė. Projekto pelno (nuostolio) ataskaita, mln. Eur	40
30 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis.....	40
31 lentelė. Finansinės būklės pakitimų ataskaita	41
32 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)	41
33 lentelė. Planuojamo projekto pagrindiniai ekonominiai rodikliai.....	43
34 lentelė. Finansavimo šaltinių ataskaita.....	44
35 lentelė. Pagrindinių ekonominių rodiklių ataskaita.....	44
36 lentelė. Pirolizės proceso žaliavų poveikis aplinkai.....	45
37 lentelė. Procesui reikalingos elektros ir šilumos energijos metinis suvartojimas	46
38 lentelė. Proceso žaliavos transportavimo ir sandėliavimo planas	46
39 lentelė. Technologinio įrenginio produkcijos poveikis aplinkai	46
40 lentelė. Produkcijos transportavimo ir sandėliavimo planas.....	47
41 lentelė. Atliekų tvarkymo plano suvestinė	48

42 lentelė. Fizikinė tarša	48
43 lentelė. Vandens srautų balansas.....	49
44 lentelė. Oro taršos suvestinė.....	49
45 lentelė. Lakiųjų organinių junginių (LOJ) sandėliavimas ir ribojimai.....	50
46 lentelė. Cheminių medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai ir kitos charakteristikos.....	52
47 lentelė. Fizikiniai profesinės rizikos veiksniai projektuojamam technologiniam įrenginiui [22]	52
48 lentelė. Fiziniai profesinės rizikos veiksniai	53
49 lentelė. Projektuojamo technologinio įrenginio pavojingų zonų klasifikavimas	54
50 lentelė. Privalomas šiluminio komforto palaikymas.....	54
51 lentelė. Darbo vietų statinių išorėje apšvietos ribinių verčių lentelė.	55

Paveikslų sąrašas

1 pav. Tipiniai pirolizės proceso etapai	14
2 pav. Reaktorius su fiksuotu katalizatoriaus sluoksniu [11].....	19
3 pav. Reaktorius su pseudoverdančio katalizatoriaus sluoksniu [12].....	20
4 pav. Cirkuliuojančio pseudoverdančio sluoksnio reaktorius [13].....	20
5 pav. ZSM-5 katalizatoriaus struktūra [15]	21
6 pav. Žaliavos reakcijos produktų priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos	23
7 pav. Lūžio taško atvaizdavimas	44
8 pav. Evakuacijos planas	56

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

LDPE – mažo tankio polietilenas;

HDPE – didelio tankio polietilenas;

PP – polipropilenas;

PET – polietileno tereftalatas;

PVC – polivinilchloridas;

PS – polistirenas.

Ivadas

Didėjantys plastiko atliekų kiekiai sąvartynuose ir aplinkoje plečia egzistuojančią plastiko atliekų perdirbimo problemą. Mechaninis perdirbimas šiuo metu yra plačiausiai taikomas plastiko perdirbimo metodas, tačiau šio proceso taikymą riboja žaliava – polietileno tereftalatas (PET) ir tam tikros formos didelio tankio polietilenas (HDPE). Šis ribojimas verčia kurti naujas perdirbimo technologijas, kurios galėtų panaudoti įvairaus tipo plastiko žaliavą perdirbimui.

Vienas iš naujų plastiko atliekų perdirbimo būdų yra plastikų pirolizė. Pirolizė yra vienas paprastesnių ir pigesnių perdirbimo metodų, leidžiančių išardyti maišytas polimerines grandines randamas plastiko atliekose ir rekonstruoti jas į vertingus, aukštą energetinę vertę turinčius produktus.

Pirolizės proceso įrenginį galima projektuoti kaip atskirą, įrenginį, arba integruoti į jau egzistuojančias proceso linijas, pvz., naftos perdirbimo gamykloje, turinčioje visą reikiamą infrastruktūrą ir procesus, galinčius apdoroti ir išgryninti sudėtingą pirolizės produktų mišinį.

Išnagrinėjus naftos produktų rinkoje vyraujančias tendencijas, nuspręsta projektuoti pirolizės proceso įrenginį AB „ORLEN Lietuva“ naftos perdirbimo gamykloje, taip išsprendžiant svarbią problemą plastikų perdirbimo rinkoje.

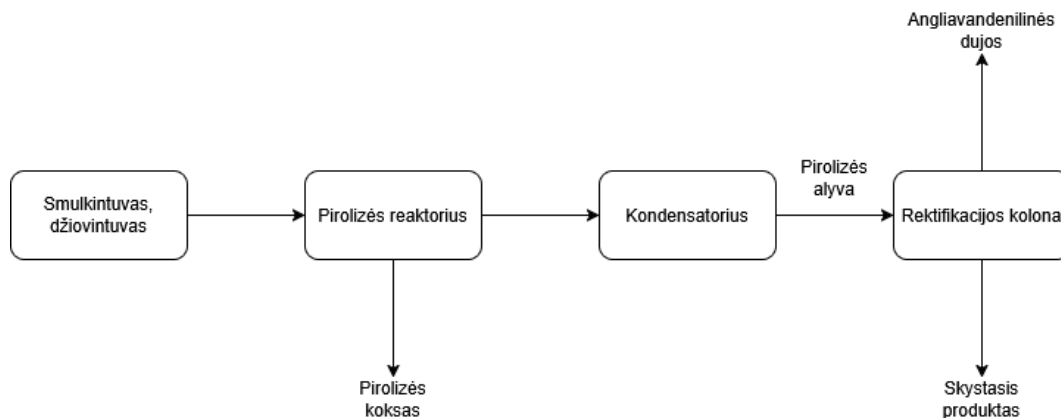
Šio darbo tikslas yra suprojektuoti nuolatinio veikimo plastiko atliekų pirolizės įrenginį, perdirbančio 35 000 t/m žaliavos. Šiam tikslui pasiekti, iškelti uždaviniai:

- apžvelgti plastiko pirolizės, gaminant skirtingos paskirties produktus, mokslinę ir technologinę literatūrą;
- ištirti skirtingų rūšių plastiko pirolizės procese gaunamų produktų sudėties priklausomybę nuo proceso parametrų;
- sudaryti gamybos įrenginio masės, šilumos balansus;
- atlikti konstrukcinius, šiluminius, technologinius, statybinius, ekonominius skaičiavimus;
- aptarti saugaus darbo priemones, atlikti aplinkosauginį vertinimą;
- A1 formate pateikti: sklypo planą, technologinę schemą, statybinius brėžinius.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Pirolizės procesas

Pirolizė yra efektyvus perdirbimo metodas, galintis išardyti maišytas polimerines grandines randamas plastiko atliekose ir rekonstruoti jas į vertingus, aukštą šiluminę vertę turinčius produktus. Maišytų plastiko atliekų pirolizė paprastai vykdoma 300–700 °C temperatūrai, aplinkoje be deguonies. Tokio proceso produktai paprastai apima skystąjį, dujinį angliavandenilinius produktus ir reakcijos likutį (pašalinį produktą). Angliavandeniliniai produktai gali būti panaudoti monomerų ir kuro gamybai. Tipinis pirolizės procesas nurodomas iliustracijoje žemiau [1].



1 pav. Tipiniai pirolizės proceso etapai

Pirolizės metu, nepaisant pradinės medžiagos cheminės prigimties, vyksta žemiau nurodyti procesai:

1. Iki 100–150 °C temperatūros aplinkoje pašalinamos lakiosios medžiagos ir drėgmė, jautrūs organiniai junginiai pradeda skilti. Būtina išskirti tai, jog drėgmei pašalinti sunaudojamas žymus kiekis energijos, todėl šioje stadijoje temperatūra gali kilti lėta, kol drėgmė yra pašalinama iš žaliavos.
2. Esant 100–500 °C temperatūrai, įvyksta didžiosios dalies organinių molekulių skilimas, susidarant vandeniliui H₂, anglies monoksidui CO, anglies dioksidui CO₂ ir organiniams junginiams.
3. Esant 200–300 °C temperatūrai, organiniai likučiai suanglėja kartu išsiskiriant šilumai. Dėl egzoterminės reakcijos, išskirtas šilumos kiekis yra pakankamai užbaigti sausos distiliacijos procesą. Tokiu atveju degimo likutis yra anglies monoksidas CO ir anglies dioksidas CO₂. Šioje reakcijos stadijoje oksiduojami ir išgarinami esami arseno, azoto, choro ir kiti elementai.
4. Esant 280–380 °C temperatūrai susidaro didžiausia dalis aukštos bei žemos virimo temperatūros organiniai junginiai.
5. Esant 380–500 °C temperatūrai, išskiriama nedidelė dalis sausų produkto garų, susidaro degutas ir toliau išsiskiria dujiniai produktai. Šio proceso metu mažėja deguoninių dujų ir didėja angliavandenilių produktų išsiskyrimas [2, 3].

Katalizatorius dažnai naudojamas pirolizės reakcijoms siekiant nustatyti norimą olefinų ir angliavandenilių koncentraciją produkte. Dažniausiai praktikoje taikomi pirolizės metodai yra greitoji ir lėtoji pirolizė.

1.1.1. Lėtosios pirolizės procesas

Lėtoji pirolizė yra vykdoma esant 200–700 °C temperatūrai, dujų išbuvimo reaktoriuje trukmė siekia 10–100 min., kaitinimo greičiui esant apie 0,1–1 °C/s. Žaliavos medžiagos dalelių dydis yra nuo 5 mm iki 50 mm. Įprasta produktų išeiga yra: dujinis produktas – 35 %, skystasis produktas – 30 %, kietasis produktas – 35 %.

1.1.2. Greitosios pirolizės proceso metodas

Greitoji pirolizė yra vykdoma esant 500–700 °C temperatūrai, dujų išbuvimo reaktoriuje trukmė siekia 0,5–10 s, kaitinimo greičiui esant apie 1,0–10 °C/s. Žaliavos medžiagos dalelių dydis yra nuo 1 mm iki 5 mm. Įprasta produktų išeiga yra: dujinis produktas – 35 %, skystasis produktas – 50 %, kietasis produktas – 25 %.

1.1.3. Greitosios katalizinės pirolizės proceso metodas

Greitosios katalizinės pirolizės proceso metodas yra dažnai taikomas praktikoje ir priklauso nuo katalizatoriaus, įkrovos tipo, temperatūros, dujų išbuvimo reaktoriuje trukmės, kaitinimo greičio, reaktoriaus konfigūracijos ir kitų kintamųjų. Naudojant šį metodą, produktų išeiga priklauso nuo katalizatoriaus. Įprastos produktų išeigos apima: aromatinius angliavandenilius (10 – 70 % tūrio), olefinus (20 – 80 % tūrio) ir benzino produktus (15 – 90 % tūrio). Šių produktų mišinys reikalauja atskyrimo siekiant, jog gauti produktai, galėtų būti panaudoti kaip kuras arba monomerų žaliava [4, 5].

1.1.4. Proceso žaliava

Įprastai, didžiąją žaliavos dalį pirolizės procesui sudaro didelio ir mažo tankio polietilenas, polipropilenas. LDPE, LLDPE, HDPE, PP tipo plastikai dažnai randami talpyklose, pakuotėse, puodeliuose, pakavimo medžiagose bei plastikiniuose maišuose. Mechaniniu būdu šios medžiagos yra sunkiai perdirbamos ir didelė dalis minėtų plastikų nėra išnaudojama žiedinei ekonomikai. Kadangi maišytose plastiko atliekose yra plastiko, turinčio didelį poliolefinų skaičių savo sudėtyje, maišytos plastiko atliekos gali būti tinkama žaliava pirolizei siekiant išskirti olefinų ir angliavandenilių produktą. Šiai problemai išspręsti galima panaudoti pirolizės procesą ir LDPE, LLDPE, HDPE bei PP tipo plastikų perdirbti minėtu procesu [6].

1.2. Plastiko atliekos Lietuvoje

Lietuvoje, tarp 2014 metų ir 2023 metų, vidutiniškai sugeneruota apie 6,2 milijonų tonų bendrųjų atliekų. Mažiausias kiekis buvo išgautas 2023 metais (5,1 milijonų tonų), didžiausias 2021 metais (6,9 milijonų tonų). Apie 20 procentų bendrųjų atliekų yra rūšiuojamos kietosios komunalinės atliekos. Pakavimo atliekos sudaro apie 5 procentus bendrųjų atliekų. Galimus HDPE, LDPE ir PP plastiko tipo atliekų šaltinius galima išskirti į 3 kategorijas:

1. Plastiko atliekos, esančios bendrame komunalinių atliekų kiekyje;
2. Plastikų, įskaitant pakuotes, atliekos;
3. Pakuotės, pakuočių atliekos ir antrinės žaliavos.

Remiantis Lietuvos Respublikos Vyriausybės teisės akto „DĖL VALSTYBINIO ATLIEKŲ PREVENCIJOS IR TVARKYMO 2021–2027 METŲ PLANO PATVIRTINIMO“ 19 priede nurodytais prognozuojamų komunalinių atliekų kiekiais, galima priimti prognozuojamus plastiko atliekų kiekius 2025–2040 metams. Kiekiai nurodyti lentelėje žemiau [7].

1 lentelė. Plastiko atliekų prognozė 2025–2040 M. (tūkst. t.) [7]

Atliekų rūšis	2025 m.	2027 m.	2030 m.	2040 m.
Plastikų, įskaitant pakuotes, atliekos	117,98	113,17	109,16	107,36
Pakuotės, pakuočių atliekos ir antrinės žaliavos	340,30	326,43	314,85	309,68
Komunaliniu atliekų kiekis iš viso	1238,28	1218,23	1187,82	1126,86

1.2.1. Plastikų, įskaitant pakuotes, atliekų kiekiai

Priimant statistinius morfologinės sudėties kiekius, nurodytus studijoje „MORPHOLOGICAL CONTENT AND RECYCLABILITY OF SEPARATE COLLECTED PACKAGES: A CASE STUDY FOR KAUNAS, LITHUANIA“ ir pritaikant ekstrapoliaciją turimiems atliekų kiekiams, sudaroma prognozė [8]:

2 lentelė. HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekių esančių plastikų, įskaitant pakuotes, atliekose prognozė [7, 8]

Metai	HDPE kiekis, tūkst. t.	LDPE kiekis, tūkst. t.	PP kiekis, tūkst. t.	Bendras žaliavos kiekis, tūkst. t.
2025	13,2	21,1	22,6	56,8
2026	12,9	20,7	22,1	55,7
2027	12,6	20,3	21,6	54,5
2028	12,5	20,0	21,4	53,9
2029	12,3	19,8	21,1	53,2
2030	12,2	19,5	20,9	52,6
2031	12,2	19,5	20,8	52,5
2032	12,1	19,5	20,8	52,4
2033	12,1	19,4	20,8	52,3
2034	12,1	19,4	20,7	52,2
2035	12,1	19,4	20,7	52,2
2036	12,1	19,3	20,7	52,1
2037	12,0	19,3	20,6	52,0
2038	12,0	19,3	20,6	51,9
2039	12,0	19,3	20,6	51,8
2040	12,0	19,2	20,5	51,7

1.2.2. Pakuočių, pakuočių atliekų ir antrinių žaliavų kiekiai

Priimant statistinius morfologinės sudėties kiekius, nurodytus studijoje „MORPHOLOGICAL CONTENT AND RECYCLABILITY OF SEPARATE COLLECTED PACKAGES: A CASE STUDY FOR KAUNAS, LITHUANIA“ ir pritaikant ekstrapoliaciją turimiems atliekų kiekiams, sudaroma prognozė pakuočių, pakuočių atliekų ir antrinių žaliavų kiekiams Lietuvoje 2025–2040 metams. Duomenys pateikiami lentelėje žemiau.

3 lentelė. HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekių esančių pakuotėse, pakuočių atliekose ir antrinėse žaliavose prognozė [7, 8]

Metai	HDPE kiekis, tūkst. t.	LDPE kiekis, tūkst. t.	PP kiekis, tūkst. t.	Bendras žaliavos kiekis, tūkst. t.
2025	16,4	26,0	25,9	68,3
2026	16,1	25,4	25,4	67,0
2027	15,8	24,9	24,9	65,6
2028	15,6	24,6	24,6	64,8
2029	15,4	24,3	24,3	64,0
2030	15,2	24,0	24,0	63,2
2031	15,2	24,0	23,9	63,1
2032	15,2	24,0	23,9	63,0
2033	15,1	23,9	23,9	62,9
2034	15,1	23,9	23,8	62,8
2035	15,1	23,8	23,8	62,7
2036	15,1	23,8	23,7	62,6
2037	15,0	23,8	23,7	62,5
2038	15,0	23,7	23,7	62,4
2039	15,0	23,7	23,6	62,3
2040	15,0	23,6	23,6	62,2

1.2.3. Bendrųjų mišriųjų komunalinių atliekų kiekis

Žinant, bendrųjų komunalinių atliekų kiekį, prognozuojamą ateičiai ir siekiant sužinoti HDPE, LDPE bei PP plastikų kiekius remiamasi moksliniu straipsniu „The Real Share of the Morphological Components of Municipal Waste Generated in Municipal Systems in Poland“, kuriame išskiriama, jog plastiko kiekis, esantis mišriosiose komunalinėse atliekose vidutiniškai siekia 13,56 %. Priėmus šią prielaidą, ir morfologinę sudėtį, taikytą plastikų, įskaitant pakuotes, atliekų kiekiams apskaičiuoti, gaunami HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekiai esantys mišriosiose komunalinėse atliekose. Duomenys pateikiami lentelėje, esančioje žemiau [9].

4 lentelė. HDPE, LDPE ir PP plastikų kiekių, esančių bendrosiose mišriosiose komunalinėse atliekose, prognozė [7, 8, 9]

Metai	HDPE kiekis, tūkst. t.	LDPE kiekis, tūkst. t.	PP kiekis, tūkst. t.	Bendras žaliavos kiekis, tūkst. t.
2025	18,8	30,1	32,1	80,9
2026	18,6	29,8	31,8	80,2
2027	18,4	29,6	31,6	79,6
2028	18,3	29,3	31,3	78,9
2029	18,1	29,1	31,1	78,3
2030	18,0	28,8	30,8	77,6
2031	17,9	28,7	30,6	77,2
2032	17,8	28,5	30,5	76,8
2033	17,7	28,4	30,3	76,4

Metai	HDPE kiekis, tūkst. t.	LDPE kiekis, tūkst. t.	PP kiekis, tūkst. t.	Bendras žaliavos kiekis, tūkst. t.
2034	17,6	28,2	30,2	76,0
2035	17,5	28,1	30,0	75,6
2036	17,4	27,9	29,8	75,2
2037	17,3	27,8	29,7	74,8
2038	17,2	27,6	29,5	74,4
2039	17,2	27,5	29,4	74,0
2040	17,1	27,4	29,2	73,6

1.2.4. Bendras HDPE, LDPE ir PP plastiko kiekis Lietuvoje

Pagal gautus duomenis, sudaroma bendra prognozė proceso žaliavai 2025–2040 metams. Duomenys pateikiami lentelėje žemiau.

5 lentelė. Proceso žaliavos prognozės duomenys

Metai	HDPE kiekis, tūkst. t.	LDPE kiekis, tūkst. t.	PP kiekis, tūkst. t.	Bendras žaliavos kiekis, tūkst. t.
2025	48,4	77,2	80,6	206,1
2026	47,6	75,9	79,3	202,9
2027	46,9	74,7	78,1	199,7
2028	46,4	74,0	77,3	197,6
2029	45,9	73,2	76,5	195,5
2030	45,4	72,4	75,6	193,4
2031	45,3	72,2	75,4	192,8
2032	45,1	72,0	75,2	192,3
2033	45,0	71,7	74,9	191,7
2034	44,8	71,5	74,7	191,1
2035	44,7	71,3	74,5	190,5
2036	44,6	71,1	74,2	189,9
2037	44,4	70,9	74,0	189,3
2038	44,3	70,6	73,8	188,7
2039	44,2	70,4	73,6	188,1
2040	44,0	70,2	73,3	187,6

1.3. Pirolizės proceso reaktorių tipai

Pirolizės proceso metu, pirolizės reakcijai įvykdyti naudojami reaktoriai. Pirolizės reaktorius nulemia proceso žaliavos slėgį, temperatūrą, dujų išbuvimo reaktoriuje trukmę ir žaliavą. Reaktoriaus tipas pasirenkamas įvertinus pradinės žaliavos fizikinei ir chemines savybes, norimo produkto sudėtį ir išėigą, proceso temperatūrinį režimą, slėgį, katalizatorių ir dujinio produkto buvimo laiką reakcijos zonoje. Žemiau pateikiami dažniausiai naudojami pirolizės procesui vykdyti reaktoriai [10]:

1. reaktorius su fiksuoto katalizatoriaus sluoksniu;
2. reaktorius su judančio katalizatoriaus sluoksniu;

3. reaktorių su pseudoverdančio katalizatoriaus sluoksniu.

1.3.1. Reaktorius su fiksuoto katalizatoriaus sluoksniu

Šio reaktoriaus tipas įprastai turi numatytas dujų kondensavimo ir gryninimo sistemas. Dėl šių priežasčių fiksuoto katalizatoriaus sluoksnio tipo reaktorių yra tinkamas gaminti žemo užterštumo kurą. Lovinio tipo reaktoriuje, kietoji fazė yra tiekama per vertikalų vamzdyną, pripildytą dujų. Reaktorius paprastai gaminamas iš ugniai atsparios medžiagos tokios kaip plienas ar betonas ir pasižymi aukšta išeiga bei ilga dujų išbuvimo reaktoriuje trukme. Reaktorius su fiksuoto katalizatoriaus sluoksniu vaizduojamas paveikslėlyje žemiau.

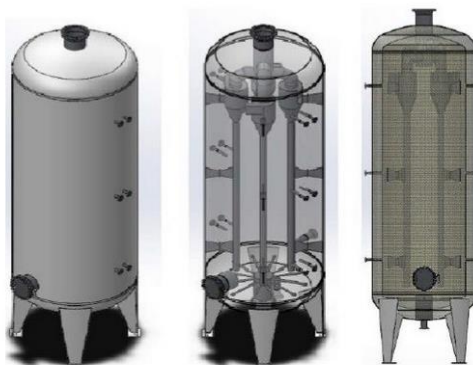


2 pav. Reaktorius su fiksuotu katalizatoriaus sluoksniu [11]

Fiksuoto katalizatoriaus sluoksnio reaktoriai yra dažnai naudojami pirolizės procesui dėl lengvo surinkimo, eksploatacijos ir vientiso produkto išgavimo naudojant maišytąsias plastiko atliekas kaip žaliavą. Pagrindiniai šio reaktoriaus tipo trūkumai apima lėtą kaitinimo greitį, ilgą dujų išbuvimo reaktoriuje trukmę ir nevientisą temperatūros išlaikymą reaktoriaus viduje [10, 11].

1.3.2. Reaktorius su pseudoverdančio katalizatoriaus sluoksniu

Dažniausiai taikomas reaktoriaus tipas. Reaktoriaus įkrova sudaro pseudoverdantis sluoksnis, kuris išgaunamas taikant aukštą slėgį įrangoje. Tokio tipo reaktoriai yra dažnai taikomi vykdyti greitąją pirolizę dėl gero šilumos laidumo, stabilios ir patikimai kontroliuojamos reakcijos bei didelio paviršiaus ploto tarp skystosios ir kietosios fazių. Reaktorius su pseudoverdančio katalizatoriaus sluoksniu vaizduojamas paveikslėlyje žemiau.

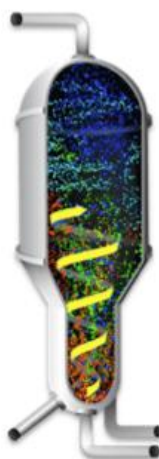


3 pav. Reaktorius su pseudoverdančio katalizatoriaus sluoksniu [12].

Šio reaktoriaus tipas yra ilgai naudojamas naftos ir chemijos pramonėje. Reaktorius pasižymi geru šilumos laidumu ir geru šilumos vientisumu sistemoje. Užlaikymo laikas reaktoriuje įprastai siekia 0,5-2,0 sekundžių palaikant 500-550 °C temperatūrą. Reaktoriai yra patikimi ir lengvai eksploatuojami, tačiau siekiant užtikrinti gerą reakcijos išėigą, žaliava privalo būti paruošta smulkių dalelių pavidalu. Taip pat, šio reaktoriaus tipo naudojimas didesnėse sistemose yra gali sukelti nemažai iššūkių [10, 12].

1.3.3. Cirkuliuojančio pseudoverdančio sluoksnio reaktorius

Šis reaktoriaus tipas yra charakterizuojamas trumpesniu užlaikymo laiku nei burbuliuojančio pseudoverdančio sluoksnio reaktoriuose. Dažnai du tokio tipo reaktoriai būna naudojami dvigubo pseudoverdančio sluoksnio reaktorių sistemoje, kurioje vienas reaktorius būna kuro reaktoriumi, tuo tarpu kitas reaktorius atlieka oro reaktoriaus darbą. Tokia sistema pasižymi aukštu patikimumu, išėiga, našumu ir galimybe pritaikyti aukštesnio našumo įrenginiuose. Cirkuliuojančio pseudoverdančio sluoksnio reaktorius vaizduojamas paveikslėlyje žemiau [10,13].



4 pav. Cirkuliuojančio pseudoverdančio sluoksnio reaktorius [13].

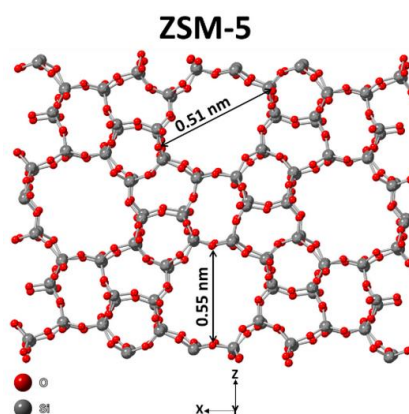
1.4. Katalizatorių naudojimas pirolizės reakcijai

Siekiant kontroliuoti pirolizės reakcijos išėigą ir produktus pirolizės reakcijai dažnai naudojamas katalizatorius, tokio tipo pirolizė vadinama katalizine pirolize. Naudojant katalizatorių reakcijai, reikalinga aktyvacijos energija reakcijai gali būti sumažinta, selektyvumas norimiems produktams

išgauti yra padidinamas. Toliau bus analizuojami potencialūs katalizatoriai, tinkami pirolizės reakcijai [14].

1.4.1. Ceolitiniai katalizatoriai

Ceolitai yra poringos kristalinės medžiagos turinčios aiškią kristalinę gardelę ir didelį paviršiaus plotą, dėl šių priežasčių ceolitinio tipo katalizatoriai yra dažnai naudojami kaip efektyvūs katalizatoriai pirolizės reakcijai. ZSM-5 tipo ceolitinis katalizatorius yra viena populiariausių ir plačiausiai aprašytų medžiagų ir šio tipo katalizatoriaus porų struktūra bei aukštas rūgštingumas leidžia šį katalizatorių pritaikyti plačiam reakcijų intervalui: krekingo, izomerizacijos, ciklinimo ir t.t.. Žemiau pateikiama katalizatoriaus struktūra:



5 pav. ZSM-5 katalizatoriaus struktūra [15]

Pirolizės reakcijos kontekste, ZSM-5 tipo katalizatorius geba pakeisti pirolizės reakcijos išeigą ir padidinti produktų, tokių kaip benzenas toluenas ir ksilenas išgavimą. Katalizatoriaus rūgštingumą nusako, jo silicio Si ir aliuminio Al santykis. Esant žemesniam Si/Al santykiui, katalizatoriaus rūgštingumas būna aukštesnis - tai lemia didesnę lengvųjų olefinų išeigą [14, 15].

1.4.2. Panaudotas katalizinio krekingo katalizatorius

Vienas iš svarbiausių procesų, taikomų naftos perdirbimo gamyklose yra katalizinis krekingas. Katalizinio krekingo metu, procesui naudojamas katalizatorius tampa užnuodytų dėl susiformavusio kokso ar metalo dalelių. Panaudotas katalizatorius yra keičiamas periodiškai, suplanuoto remonto metu. Dėl savo struktūros, panaudotas katalizatorius sukuria galimybę naftos perdirbimo gamykloms išnaudoti panaudotą katalizinio krekingo katalizatorių ir panaudoti jį plastiko atliekų pirolizės procesui.

Tokį katalizatoriaus panaudojimą grindžia ir atlikta studija „Catalytic pyrolysis of recycled polypropylene using a regenerated FCC catalyst“. Jos metu katalizinio krekingo katalizatorius buvo sėkmingai panaudotas įvairaus tipo plastiko pirolizės procesui, naudojant 0,05 katalizatoriaus/plastiko santykį. Nors ir nustatyta, jog panaudotas katalizatorius turi mažesnę paviršiaus plotą nei ceolitiniai analogai, katalizatorius turėjo pakankamą aktyvacijos energiją teigiamai pakreipti pirolizės proceso rezultatus. Nustatyta, jog katalizatoriaus rūgštingumas turi didelę įtaką produktų išeigai, todėl proceso metu būtinas dozavimas siekiant išgauti geriausią proceso išeigą [16].

2. Tiriamoji dalis

2.1. Proceso žaliava ir pagrindinės medžiagos

Siekiant ištirti pirolizės procese gaunamų produktų sudėties priklausomybę nuo proceso parametrų pasirinkta naudoti šių tipų plastikų atliekas: polipropileną (PP), polistireną (PS), polietileną (PE). Detalios produktų sudėties analizei pasirinkti PP ir PE plastiko tipai. Minėtos atliekos buvo surinktos kaip gamybinės atliekos ir charakterizuotos pagal jų žymėjimą. Bandymams naudotos žaliavos charakteristikos pateiktos lentelėje nurodytoje žemiau:

6 lentelė. Pirolizės proceso bandymams naudotos proceso žaliavos charakteristikos

Parametras	Žaliava		
	PP	PE	PS
Skaidrumas	Neskaidrus		
Spalva	Balta	Balta	Pilka
Lydymosi temperatūra, C	165	107,2	-
Stiklėjimo temperatūra, C	-	-	101
Kristalizacijos temperatūra, C	118	91	-
Polimero orientacija	Orientuotas	Orientuotas	Neorientuotas
Peleningumas, %	3,5	0,2	0,5
C kiekis, %	84	85,5	91,8
H kiekis, %	12,6	14,3	7,6
Al kiekis, mg/kg	148,7	17,2	339,5
Ca kiekis, mg/kg	6708	31	1018
Cr kiekis, mg/kg	0,4	1,3	112
Cu kiekis, mg/kg	0,4	0,5	4,2
Fe kiekis, mg/kg	15	120	713
K kiekis, mg/kg	12	4,5	7,28
Mg kiekis, mg/kg	135	7,9	199,8
Mn kiekis, mg/kg	0,15	0,8	14
Na kiekis, mg/kg	57,5	5,7	148,1
Ni kiekis, mg/kg	0,015	1,5	28,9
P kiekis, mg/kg	< aptikimo ribos	16,7	42,1
Ti kiekis, mg/kg	2560	4,9	61,8

Procesui naudojamo katalizatoriaus charakteristikos pateikiamos lentelėje žemiau:

7 lentelė. Katalizatoriaus, naudoto bandymams, savybės

Katalizatoriaus savybė	Vertė	Matavimo vienetai
Aktyvumas	72	masės %
Kokso faktorius	0,8	-
Dujų faktorius	0,5	-
Vandenilio kiekis	0,039	masės %
Bendras paviršiaus plotas	172	m ² /g
Ni konc.	62	ppm
V konc.	1120	ppm
Na konc.	0,24	masės %
Sb konc.	1	ppm
Re ₂ O ₃ konc.	0,25	masės %
Al ₂ O ₃ konc.	44,8	masės %
Cu konc.	18	ppm
Fe konc.	0,4	masės %
C konc.	0,11	masės %
Porų tūris	0,4	cm ³ /g
Vidutinis dalių dydis	82	qm
Dalelių tankis	1,22	g/cm ³

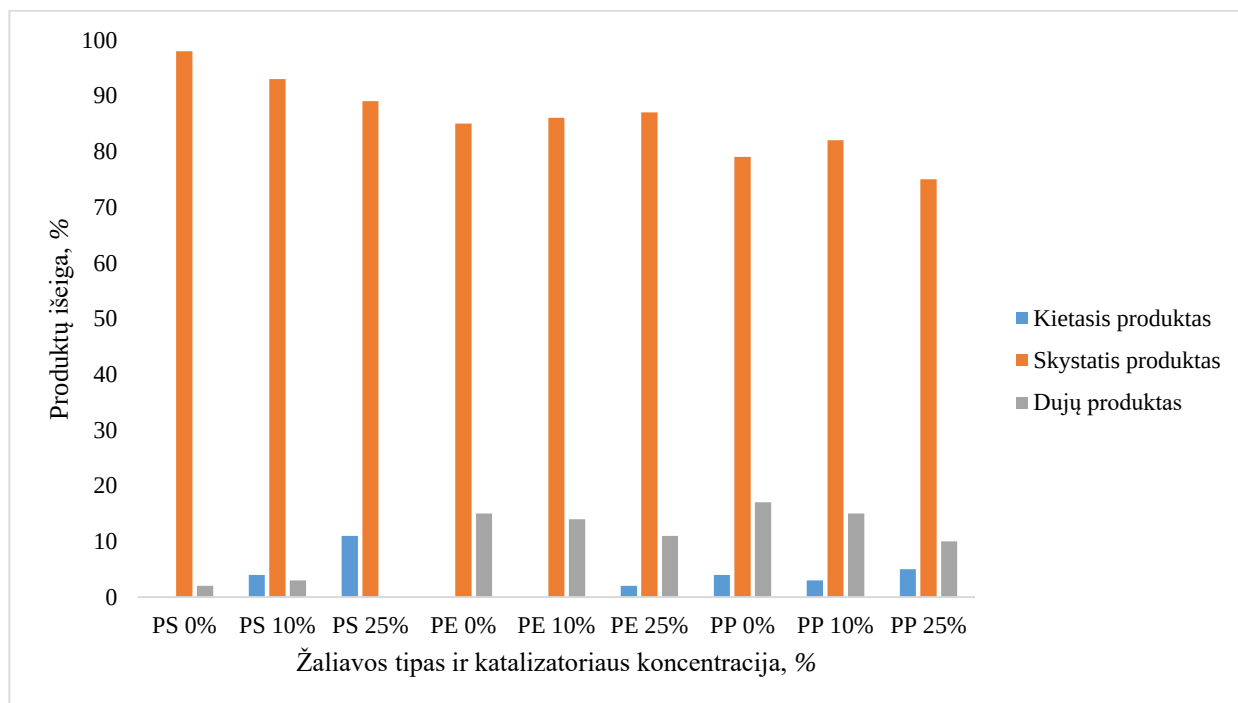
2.2. Tyrimo metodika

Pirolizės proceso tyrimas buvo atliktas naudojantis nejudančio sluoksnio reaktoriuje. Reaktorius pasižymi nuolatiniu produktų šalinimu ir periodiniu užkrovimu. Reaktoriuje naudota susmulkinta žaliava, kurios dalelių dydis buvo iki 20 mm dydžio ir būdingas plotas $20 \pm 6 \text{ cm}^2$ ir katalizatorius. Naudojamas katalizatoriaus kiekis siekė 0, 10 ir 25 % bendros mišinio masės.

Bandymas buvo vykdytas atmosferiniame slėgyje, kaitinant 3 kW galios elektrinėje mufelinėje krosnyje temperatūrą didinant iki 500 °C. Reaktorius užkrautas pagrindinėmis medžiagomis buvo užpildytas azoto dujomis ir hermetiškai uždarytas. Iš reaktoriaus ištekę produktai buvo kondensuojami į talpą po 250 ml. Kiekvieno eksperimento metu buvo gautos 4 produktų frakcijos. Nesukondensavę pirolizės produktai buvo nukreipti per dujų tūrio skaitiklį ir po to sudeginti. Kietieji proceso produktai buvo pašalinti ataušinus reaktorių. Pirolizės proceso pabaiga buvo nustatoma pagal pastovų nesukondensuojančių dujų tūrio rodmenį, kai proceso temperatūra buvo palaikoma ties 500 °C.

2.3. Tyrimo rezultatai

Pirolizės proceso bandymas buvo atliktas polipropileno (PP), polistireno (PS) ir polietileno (PE) tipo žaliavoms taikant katalizinę ir nekatalizinę pirolizę. Tyrimo metu nustatyta, jog didėjant katalizatoriaus kiekiui mišinyje, didėja produktų išeiga, kadangi proceso metu susidaro didesnis kiekis pirolizės kokso. Nustatyta, jog polipropileno (PP) ir polietileno (PE) mišinio išeiga yra mažesnė taikant 10 % katalizatoriaus kiekį nuo bendros mišinio masės. Toks rezultatas matomas dėl mažo kiekio vandenilio perdavos reakcijų. Žemiau paveikslėlyje pateikiama skirtingos žaliavos reakcijos produktų priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos.



6 pav. Žaliavos reakcijos produktų priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos

Atlikus bandymus, proceso produktams buvo atlikta dujų chromatografija su masės detektoriumi AB „ORLEN Lietuva“. Ištyrus proceso produktų sudėtį pastebėta, jog PE produktų frakcijose nesočių junginių kiekis yra pastovus (siekia 55-58 %), linijinės struktūros darinių kiekis mažėja nuo 40 iki 35

%, sočiųjų junginių siekia 45-46 %. Nustatyta, jog šakotų junginių koncentracija padidėja iki 7,5 % ribos, kadangi reaktoriuje ilgesnį laiko intervalą išbuvę junginiai izomerizuojasi. Pirmoje frakcijoje daugiausiai susidaro C₇-C₁₅ junginiai, kadangi proceso metu vyraujanti aukštesnė temperatūra skatina ciklizacijos, aromatizacijos ir izomerizacijos reakcijas, frakcijose susidaro ir šakoti, aromatiniai junginiai. Pastebėta, jog proceso metu naudojant katalizatorių, aromatinių junginių išeiga padidėja ir aromatiniai junginiai intensyviausiai susidaro reakcijos pabaigoje. Nustatyta jog reakcijoje, veikiamoje katalizatoriaus, linijinių junginių koncentracija svyruoja tarp 18 ir 27 %, nesočiųjų junginių kiekis taip pat neženkliai. Produktų išeigos priklausomybė pateikiama 8 lentelėje.

8 lentelė. PE (polietileno) produktų išeigos priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos

Katalizatoriaus koncentracija, %	Junginio struktūra		Anglies atomų skaičius frakcijoje									
			1					2				
			Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅	C ₁₆ ir >	Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅	C ₁₆ ir >
0	Sotieji avd.	Šakota	0	0,50	0,20	0	0	0	0,15	0	4,20	0
		Linijinė	1,0	12,4	15,0	10,1	2,3	1,7	14,2	10,2	8,1	1,5
		Ciklinė	0,3	1,2	0,2	0,1	0,0	0,7	3,6	0,0	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	0,0	2,5	0,6	0,0	0,0	0,0	1,9	0,9	0,0	0,0
		Linijinė	1,2	10,6	22,3	10,4	1,1	2,4	14,8	21,4	6,8	0,9
		Ciklinė	0,2	5,2	0,0	0,3	0,0	0,5	2,9	0,0	0,0	0,0
		Aromatinė	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0
	Viso:		2,7	35,5	38,3	20,8	3,4	5,1	39,7	32,5	19,1	2,5
10	Sotieji avd.	Šakota	2,0	16,4	12,6	1,8	0,0	2,0	18,9	7,3	0,4	0,0
		Linijinė	0,6	2,4	0,9	0,0	0,1	0,6	2,7	1,0	0,5	0,1
		Ciklinė	0,5	1,6	0,2	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	3,5	14,2	5,3	0,0	0,0	4,4	22,0	3,3	0,0	0,0
		Linijinė	2,3	12,5	4,8	0,3	0,0	2,6	19,7	2,5	0,0	0,0
		Ciklinė	0,2	0,8	0,8	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0
		Aromatinė	0,5	12,3	3,5	0,0	0,0	0,0	7,8	1,8	0,0	0,0
	Viso:		9,5	60,0	28,0	2,1	0,2	10,1	72,9	16,0	0,9	0,1
25	Sotieji avd.	Šakota	3,9	17,6	8,2	0,9	0,0	1,9	16,3	9,6	1,8	0,1
		Linijinė	1,0	2,5	1,8	0,4	0,1	0,4	2,3	2,2	0,8	0,1
		Ciklinė	0,5	1,2	0,5	0,0	0,0	1,2	0,6	0,2	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	6,2	14,3	3,8	0,0	0,0	2,5	15,0	3,3	0,0	0,0
		Linijinė	3,7	11,9	4,2	0,5	0,0	2,4	15,4	5,1	0,6	0,0
		Ciklinė	0,5	2,6	0,1	0,0	0,0	0,3	3,3	0,5	0,0	0,0
		Aromatinė	0,6	10,7	2,5	0,0	0,0	0,0	10,9	3,1	0,0	0,0
	Viso:		16,3	60,8	21,0	1,8	0,1	8,7	63,8	24,1	3,3	0,2

Katalizatoriaus koncentracija, %	Junginio struktūra		Anglies atomų skaičius frakcijoje									
			3					4				
			Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅	C ₁₆ ir >	Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅	C ₁₆ ir >
0	Sotieji avd.	Šakota	0,0	0,3	4,3	0,0	0,0	-	-	-	-	-
		Linijinė	2,4	15,7	10,6	5,0	0,0	-	-	-	-	-
		Ciklinė	1,0	3,0	0,3	0,0	0,0	-	-	-	-	-
	Nesotieji avd.	Šakota	0,4	2,3	0,4	0,0	0,0	-	-	-	-	-
		Linijinė	3,5	17,5	20,8	3,6	0,0	-	-	-	-	-
		Ciklinė	1,4	5,3	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-
		Aromatinė	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-
	Viso:		8,6	45,0	36,4	8,6	0,0	-	-	-	-	-
10	Sotieji avd.	Šakota	1,8	15,7	6,6	2,0	0,1	5,0	16,9	1,6	0,0	0,0
		Linijinė	0,9	3,0	3,8	1,9	0,2	1,9	2,6	1,0	0,0	0,0
		Ciklinė	0,5	0,8	0,0	0,0	0,0	2,5	1,4	0,0	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	4,6	20,3	3,7	0,0	0,0	11,4	23,4	0,6	0,0	0,0
		Linijinė	2,5	13,4	4,3	0,2	0,0	6,2	15,4	1,1	0,0	0,0
		Ciklinė	0,3	1,3	0,0	0,0	0,0	0,7	0,8	0,0	0,0	0,0
		Aromatinė	0,0	8,9	3,5	0,0	0,0	0,0	7,2	0,3	0,0	0,0
	Viso:		10,6	63,3	21,8	4,0	0,3	27,7	67,7	4,6	0,0	0,0
25	Sotieji avd.	Šakota	3,7	14,9	5,6	0,4	0,0	0,9	13,9	14,8	3,8	0,6
		Linijinė	1,0	2,0	0,8	0,1	0,0	0,2	1,2	2,6	0,6	0,4
		Ciklinė	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	8,2	23,9	2,8	0,0	0,0	1,2	8,1	4,9	0,0	0,0
		Linijinė	4,4	14,5	2,9	0,0	0,0	1,1	8,4	3,4	0,6	0,3
		Ciklinė	0,5	1,5	0,2	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0	0,0
		Aromatinė	0,0	8,7	2,1	0,0	0,0	0,0	18,4	11,9	0,0	0,0
	Viso:		18,1	67,0	14,4	0,5	0,0	4,0	52,0	37,8	4,9	1,3

Atlikus bandymus ir ištyrus proceso produktų sudėti pastebėta, jog PP produktų frakcijose nesočiųjų junginių kiekis kinta nuo 76 iki 82 % ir reakcijos metu mažėja. Nustatyta, jog dėl žaliavos struktūros, produkte vyrauja šakotos struktūros angliavandenilių dariniai (apie 9 %) ir nesočiųjų angliavandenilių junginių kiekis kinta nuo 79 % iki 62 %. Dėl aukštoje temperatūroje vykstančios izomerizacijos, linijinės struktūros junginių koncentracija frakcijose didėja nuo 4 iki 19 %. Nustatyta, jog C₇-C₉ junginių kiekis reakcijos metu mažėja tolimesnėse frakcijose nuo 70 % ribos. Sumažėjusi C₇-C₉ junginių koncentracija gali būti paaiškinama, padidėjusiu C₅-C₆ ir C₁₀-C₁₂ junginių susidarymu dėl didesnių mokelių skilimo ir radikalų susijungimo. Produktų išeigos priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos pateikiama 9 lentelėje.

9 lentelė. PP (polipropileno) produktų išeigos priklausomybė nuo katalizatoriaus koncentracijos

Katalizatoriaus koncentracija, %	Junginio struktūra		Anglies atomų skaičius frakcijoje							
			1				2			
			Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅	Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅
0	Sotieji avd.	Šakota	0,3	5,2	3,2	0,0	0,5	6,3	3,1	0,0
		Linijinė	0,7	1,3	0,5	0,0	0,9	2,5	1,0	0,0
		Ciklinė	0,0	6,7	0,3	0,0	0,0	6,9	1,8	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	3,0	58,9	17,7	0,0	4,2	52,5	13,4	0,0
		Linijinė	0,0	1,3	0,8	0,0	0,1	2,9	2,5	0,0
		Ciklinė	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0
		Aromatinė	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Viso:		4,0	73,7	22,3	0,0	5,8	72,4	21,8	0,0
10	Sotieji avd.	Šakota	4,3	13,1	3,4	0,0	2,5	8,8	5,0	0,1
		Linijinė	1,1	0,9	0,1	0,0	0,4	0,5	0,7	0,2
		Ciklinė	2,3	1,2	0,6	0,0	1,1	1,6	0,5	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	12,9	37,9	3,0	0,0	13,1	35,8	9,0	0,7
		Linijinė	4,8	7,8	0,9	0,0	3,3	5,0	3,8	0,0
		Ciklinė	0,4	1,5	0,1	0,0	0,3	1,6	0,2	0,2
		Aromatinė	0,0	3,9	0,1	0,0	0,0	4,1	1,2	0,4
	Viso:		25,6	66,2	8,1	0,0	20,8	57,3	20,4	1,5
25	Sotieji avd.	Šakota	1,5	15,7	10,6	0,1	6,0	17,3	2,9	0,0
		Linijinė	0,3	0,8	1,5	0,2	0,9	0,7	0,0	0,0
		Ciklinė	0,7	0,2	0,3	0,0	2,6	0,3	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	3,1	29,7	6,3	0,2	12,8	33,3	1,8	0,0
		Linijinė	1,2	8,8	1,9	0,0	4,5	5,6	0,0	0,0
		Ciklinė	0,1	3,3	0,8	0,0	0,4	2,2	0,2	0,0
		Aromatinė	0,0	10,3	2,6	0,0	0,0	8,4	0,2	0,0
	Viso:		6,9	68,8	23,9	0,5	27,2	67,8	5,0	0,0

Katalizatoriaus koncentracija, %	Junginio struktūra		Anglies atomų skaičius frakcijoje							
			3				4			
			Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅	Nuo C ₅ iki C ₆	Nuo C ₇ iki C ₉	Nuo C ₁₀ iki C ₁₂	Nuo C ₁₃ iki C ₁₅
0	Sotieji avd.	Šakota	1,4	5,5	2,0	0,0	-	-	-	-
		Linijinė	3,7	4,3	0,8	0,0	-	-	-	-
		Ciklinė	0,7	4,6	0,5	0,0	-	-	-	-
	Nesotieji avd.	Šakota	12,4	45,0	4,8	0,0	-	-	-	-
		Linijinė	1,1	7,1	2,4	0,1	-	-	-	-
		Ciklinė	0,5	3,0	0,0	0,0	-	-	-	-
		Aromatinė	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
	Viso:		19,9	69,5	10,5	0,1	-	-	-	-
10	Sotieji avd.	Šakota	2,3	9,1	3,0	0,0	4,9	13,1	0,9	0,0
		Linijinė	0,6	0,7	0,1	0,0	0,9	0,2	0,0	0,0
		Ciklinė	1,8	0,6	0,3	0,0	8,5	0,3	0,0	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	12,1	42,6	5,8	0,0	13,5	32,3	0,5	0,2
		Linijinė	4,2	8,0	2,7	0,0	7,2	8,5	0,0	0,0
		Ciklinė	0,4	1,9	0,0	0,0	0,6	2,8	0,0	0,0
		Aromatinė	0,0	3,1	0,3	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0
	Viso:		21,4	66,0	12,2	0,0	35,6	62,7	1,4	0,2
25	Sotieji avd.	Šakota	0,9	12,1	7,1	0,9	2,1	15,9	10,4	0,1
		Linijinė	0,0	1,0	0,4	0,0	0,3	0,7	1,3	0,0
		Ciklinė	0,7	2,0	0,0	0,0	0,9	0,6	0,1	0,0
	Nesotieji avd.	Šakota	2,8	34,7	4,8	1,0	3,0	19,1	4,3	0,0
		Linijinė	0,9	11,5	3,1	0,4	2,2	7,7	2,8	0,0
		Ciklinė	0,0	2,7	0,7	0,0	0,2	1,5	1,2	0,0
		Aromatinė	0,0	10,1	2,4	0,0	0,0	18,8	6,9	0,0
	Viso:		5,2	74,1	18,3	2,3	8,6	64,3	27,0	0,1

Tyrimo metu buvo ištirta skirtingų rūšių plastiko pirolizės procese gaunamų produktų priklausomybė nuo proceso parametrų. Gautais rezultatais remiamasi sudarant projektuojamo technologinio įrenginio reaktoriaus pagrindinių produktų išėigos balansą.

3. Inžinerinė dalis

3.1. Technologinė dalis

Technologinėje magistro baigiamojo darbo dalyje patiekama technologinė schema (žr. Priedas X), proceso pradinės žaliavos sudėtis, masės srautų balanso ir šilumos srautų balanso skaičiavimai, taip pat pateikiamos prielaidos skaičiavimams gauti.

3.1.1. Bendrosios technologinės schemos aprašymas

Žemiau nurodomas plastiko atliekų pirolizės proceso aprašymas naudojantis bendrąja technologine schema. Technologinis įrenginys yra išskirstytas į keturias sekcijas: žaliavos paruošimo, reaktoriaus, fazių atskyrimo ir frakcionavimo.

3.1.1.1. Žaliavos paruošimo sekcijos aprašymas

Tiekama proceso žaliava yra iškraunama iš transporto priemonės ant konvejerio KON-1, kuriuo žaliava yra transportuojama į smulkintuvą SM-1. Smulkintuvas SM-1 tiekiamą žaliavą susmulkina iki 3 mm dydžio dalelių. Susmulkinta žaliava iš smulkintuvo SM-1 konvejeriu KON-2 yra nukreipiama į džiovintuvą D-1. Džiovintuvas pašalina žaliavoje esančią drėgmę ir žaliava yra paduodama į dechlorinimo reaktorių R-1. Reaktorius R-1, veikiantis 300 °C temperatūra pašalina chloro priemaišas, randamas žaliavoje.

3.1.1.2. Reaktoriaus sekcijos aprašymas

Krosnis KR-1 yra angliavandenilinėmis dujomis (kuro dujomis) ir proceso likučiu eksploatuojama krosnis su degimo kamera, pasiekiančia 670 °C temperatūrą. Kuro dujos krosniai KR-1 tiekiamos iš gamyklos kuro tinklo ir dujų frakcionavimo įrenginio gamyklos teritorijoje. Krosnis KR-1 naudojama suteikti reikalingą šilumą džiovintuvui siekiant pašalinti žaliavoje esančią drėgmę ir pašildyti proceso likutį (recirkuliatą) prieš jį paduodant į pirolizės kokso sudeginimo krosnį / katalizatoriaus regeneratorių REG-1. Į regeneratorių REG-1 taip pat tiekiamas panaudotas katalizatorius, atskiriamas ciklonuose C-1 ir C-2, iki 2 bar slėgio suslėgtas oro srautas ir papildomai tiekiamas „šviežaus“ katalizatoriaus srautas. Regeneratorius REG-1 regeneruoja katalizatorių ir sudegina pirolizės proceso koksą 670 °C temperatūroje ir 3 bar slėgyje.

Regeneruotas katalizatorius yra dozuojamas į iš dechlorinimo reaktoriaus R-1 tiekiamą žaliavą bei sumaišomas su pirolizės proceso fluidizavimui reikalingais lengvaisiais dujiniais angliavandeniliais, tiekiamais iš talpos T-2. Pirolizės proceso žaliava į pirolizės reaktorių R-1 yra paduodama ekstruderiu. Pirolizės reaktorius R-2 veikia esant 600 °C temperatūrai ir 3 bar slėgiui. Žaliava, kurios santykis su katalizatoriumi yra 6, reaktoriuje užlaikoma 2 sekundes. Veikiant temperatūrai, slėgiui ir katalizatoriui, angliavandenilinės grandinės skyla, suformuojamas angliavandenilių mišinys.

Pirolizės proceso produktas yra nukreipiamas į ciklonus C-1 ir C-2, kurie veikiant 600 °C temperatūrai, atskiria sunaudotą proceso katalizatorių ir nukreipia katalizatoriaus srautą į regeneratorių REG-1. Aukštos temperatūros angliavandenilių mišinys tada yra nukreipiamas į vandeninių aušintuvų grandinę (AV-1, AV-2, AV-3), kur žaliava yra ataušinama iki 25 °C temperatūros. Susiformavęs skystis – pirolizės alyva, yra nukreipiamas į dviejų fazių separatorių SP-1.

3.1.1.3. Fazių atskyrimo sekcijos aprašymas

Pirolizės alyva, patekusi į dviejų fazių separatorių SP-1, yra išskirstoma į dvi fazes: lengvųjų dujinių angliavandenilių ir skystųjų angliavandenilių. Lengvųjų dujinių angliavandenilių fazės srautas yra suslegiamas iki 5 bar slėgio kompresoriaus KOMP-2 pagalba ir pakartotinai atvėsintas vandeniniame aušintuve AV-4 iki 23 °C temperatūros. Suslėgtas ir atvėsintas angliavandenilių srautas tada yra nukreipiamas į rektifikacijos koloną KOL-1, kurios tikslas iš angliavandenilių mišinio atskirti C₁-C₄ frakciją. Atskirta C₁-C₄ frakcija tada yra ataušinama ir sukondensuojama talpoje T-1, iš kurios dalis srauto naudojama kaip kolonos laistiklis, o likusi dalis yra nukreipiama į talpą separatorių T-2. Talpoje T-2 susidariusi dujinė fazė yra nukreipiama į pirolizės reaktorių R-2, o skystasis produktas yra išvedamas iš talpos ir nukreipiamas į dujų frakcionavimo įrenginį, esantį gamyklos teritorijoje tolimesniam dujinio angliavandenilių produkto frakcionavimui. Kolonos KOL-1 apačios produktas (frakcija > 250 °C) yra nukreipiamas į rektifikacijos koloną K-3 tolimesniam produkto distiliavimui. Iš separatoriaus SP-1 tiekiamą skystoji fazė yra nukreipiama į rektifikacijos koloną KOL-2.

Kolonoje KOL-2 lengvieji angliavandeniliai yra atskiriami nuo sunkiųjų ir sukondensuoti orinio aušintuvo kondensatoriaus AKO-2 bei vandeninio aušintuvo kondensatoriaus AKV-2 talpinami į reflukso talpą T-3, iš kurios dalis srauto siurbliais S-3,4 panaudojama kaip kolonos laistiklis, o likusi dalis nukreipiama į KOL-3 tolimesniam produktų distiliavimui. Apatinis kolonos KOL-3 produktas yra grąžinamas atgal į reaktorių R-2 pakartotiniam perdirbimui bei šilumos perdavimui.

3.1.1.4. Frakcionavimo sekcijos aprašymas

Pagrindinis frakcionavimo sekcijos tikslas yra atskirti vertinguosius angliavandenilinius produktus, išgautus reaktoriaus sekcijoje. Rektifikacijos žaliavos srautas (kolonos KOL-1 apačios produkto, kolonos KOL-2 viršaus produkto ir benzeno, tolueno ir ksileno mišinys) yra nukreipiamas į ekstrakcinės rektifikacijos koloną KOL-3 per šilumokaitį TK-5, kuriame srautas yra pašildomas iki 170 °C temperatūros. Į koloną KOL-3 taip pat tiekiamas sulfolanas – tirpiklis, kuris padeda atskirti iki 66 % C₆-C₁₂ aromatinių angliavandenilių frakcijos. Naudojamas 2:1 tirpiklio ir žaliavos santykis. Kolonos viršaus produktas, sudarytas pagrindė iš alifatinių angliavandenilių, yra vėliau pašalinamas iš įrenginio kaip produktas. Kolonos KOL-3 apačios produktas, sudarytas iš benzeno, tolueno, ksileno ir C₉-C₁₂ frakcijos, yra nukreipiamas į tirpiklio stripingo koloną KOL-4.

Stripingo kolonoje KOL-4 atskiriamas ir per kolonos apačią pašalinamas tirpiklis yra pašildomas šilumokaityje TK-2 iki 170 °C, pašildytas tirpiklis sugrąžinamas į koloną KOL-3. Likęs angliavandenilių srautas kondensuojamas talpoje T-5 ir vėliau nukreipiamas į dviejų fazių separatorių SP-2. Separatoriuje atskirta likusi lengvųjų alifatinių angliavandenilių fazė yra įvedama į produkto srautą tiekiamą iš talpos T-4 ir palieka įrenginį kaip produktas. Likęs angliavandenilių mišinys yra nukreipiamas į rektifikacijos koloną KOL-5.

Kolonos KOL-5 pagrindinis tikslas yra iš angliavandenilių mišinio atskirti benzeno, tolueno ir ksileno frakciją nuo C₉-C₁₂ frakcijos. Benzeno, tolueno ir ksileno frakcija palieka koloną KOL-5 kaip viršaus produktas, yra ataušinama ir kondensuojama talpoje T-6, iš kurios dalis srauto yra panaudojama kaip rektifikacijos kolonos laistiklis. Likusi srauto dalis nukreipiama į koloną KOL-6 benzeno frakcijos atskyrimui. Kolonos KOL-5 apačios produktas - C₉-C₁₂ frakcija, nukreipiama į rektifikacijos koloną KOL-7 tolimesniam produkto skaidymui.

Rektifikacijos kolonos KOL-6 pagrindinis tikslas iš benzeno, tolueno ir ksileno frakcijos atskirti benzeno frakciją. Benzeno frakcija palieka koloną per jos viršų, ataušinama ir kondensuojama talpoje T-7, iš kurios dalis srauto siurbliais S-11,12 grąžinama į koloną kaip laistiklis. Likusi dalis pašalinama iš kolonos kaip benzeno produktas. Kolonos apačios produktas – tolueno ir ksileno frakcija, taip pat pašalinama iš įrenginio kaip produktas.

Į koloną KOL-7 tiekama C₉-C₁₂ frakcija yra išskaidoma į C₉-C₁₀ frakciją ir į C₁₁-C₁₂ frakciją. Lengvoji frakcija palieka koloną per jos viršų ir yra ataušinama bei kondensuojama talpoje T-8, iš kurios dalis srauto siurbliais S-13,14 grąžinama į koloną kaip kolonos laistiklis. Likusi srauto dalis pašalinama iš įrenginio kaip produktas. Kolonos KOL-7 apačios produktas - C₁₁-C₁₂ palieką įrenginį kaip produktas.

3.1.2. Žaliavinių srautų cheminė sudėtis, medžiagų ir šilumos balanso skaičiavimai

Proceso masės balansui sudaryti buvo remtasi Lietuvos Respublikos Vyriausybės teisės akto „DĖL VALSTYBINIO ATLIEKŲ PREVENCIJOS IR TVARKYMO 2021–2027 METŲ PLANO PATVIRTINIMO“ 19 priede nurodytais prognozuojamų komunalinių atliekų kiekiais.

Pirolizės proceso pagrindinė žaliava – LDPE, HDPE ir PE tipo plastiko atliekos. Priimama, jog dalis žaliavos (9 % bendro masės kiekio) sudaroma PS tipo plastiko atliekų. Dėl galimo rūšiavimo netikslumo, taip pat priimta, jog iki 1 % bendro masės kiekio sudaro PET ir PVC tipo plastikai patenkantys į žaliavos sudėti rūšiavimo metu. Priimta ir skaičiavimams naudojama žaliavos sudėtis nurodoma lentelėje žemiau.

10 lentelė. Proceso žaliavos sudėtis

Srautas	Kiekis		
	<i>t/metus</i>	<i>t/h</i>	<i>% dalis</i>
LDPE	7924	0,96	21,12
HDPE	12638	1,53	33,69
PP	13198	1,59	35,19
PS	3376	0,41	9,00
PET	225	0,03	0,60
PVC	150	0,02	0,40
Viso:	37510	4,53	100,00

Naudojantis literatūros šaltiniais ir tyrimų rezultatais priimta projektuojamo įrenginio konfigūracijos (pirolizės reaktoriaus R-2 temperatūra yra 600 °C, esant 3 bar slėgiui ir žaliava, kurios santykis su katalizatoriumi yra 6, reaktoriuje užlaikoma 2 sekundes) išeiga. Reaktoriaus produktų išeiga pateikiama lentelėje žemiau:

11 lentelė. Pirolizės proceso produktų išeiga

Srautą sudaro	Sudėtis, masės %
CO	1,06
CO ₂	4,51
H ₂	0,38

CH ₄	6,05
C ₂ H ₆	5,43
C ₂ H ₄	2,45
C ₃ H ₈	7,78
C ₃ H ₆	5,60
C ₄ H ₁₀	9,46
Trans-2-butenas (C ₄ H ₈)	1,02
1-butenas	0,73
i-butilenas	1,72
Cis-2-butenas (C ₄ H ₈)	0,77
1,3-butadienas	0,05
n-C ₅ H ₁₂	6,34
C ₅ H ₁₀	4,22
n-C ₆ H ₁₄	0,27
C ₇ H ₁₄	1,04
n-C ₈ H ₁₈	2,06
Benzenas	1,76
Toluenas	5,60
Ksilenas	11,72
Kumenas (C ₉ H ₁₂)	6,71
N-C ₉ H ₂₀	2,41
N-C ₁₀ H ₂₂	0,80
C ₁₁ H ₂₄	1,07
C ₁₂ -C ₁₅	5,10
C ₁₆ ir daugiau	0,90
Oras	0,00
O ₂	0,00
N ₂	0,00
Argonas	0,00
Pirolizės koksas	3,00
Suma	100,00

Naudojantis aukščiau priimta pirolizės produktų išeiga, sudaromas masės balansas, sugrupuojant komponentus į galutinių produktų frakcijas. Priimamas recirkuliuojamas kiekis – 10 % procentų nuo bendro žaliavos masės kiekio. Skaičiavimų rezultatai pateikiami lentelėje nurodytoje žemiau:

12 lentelė. Reaktoriaus R-2 masės srautų balansas

Srautas	Tankis ρ, g/cm3	M, g/mol	Kiekis		
			Kiekis, masės %	kg/h	kmol/h
Ieina:					
Žaliava	0,96	74	100,0	4512	333
Recirkuliuojamas	0,94	360	10,0	451	162
Viso			110	4963	496
Išeina:					
CO	1,25	28	1,1	48	1
CO ₂	1,80	44	4,5	203	9
Kuro dujos		22	14,3	646	14
Dujos (C ₃ -C ₄)	-	32	27,1	1224	39

Benzinas (C ₅ -200 °C)	0,74	112	23,8	1076	121
Dyzelinas	0,97	360	7,1	319	115
Benzenas, toluenas, ksilenas	0,87	99	19,1	861	85
Koksas	-	-	3,0	135	-
Recirkuliatas	0,94	360	10,0	451	162
Viso			110	4963	547

Naudojantis sudarytu reaktoriaus masės balansu sudaromas reaktoriaus šilumos balansas. Skaičiavimams taikomas žaliavos ir katalizatoriaus santykis – 6. Medžiagų ir srautų savitoji šiluminė talpa ir entalpijos buvo priimtose naudojantis moksliniais šaltiniais. Skaičiavimų rezultatai nurodomi lentelėje žemiau:

13 lentelė. Reaktoriaus R-2 šilumos srautų balansas

Srautas	Tankis ρ , g/cm ³	t, °C	C, kJ/(kg·K)	h, kJ/kg	G, kg/h	Q, MJ/h
Ieina:						
LDPE	0,925	500	2,118	1059	957	1013
HDPE	0,97	500	2,25	1125	1526	1717
PP	0,93	500	1,92	960	1594	1530
PS	1,07	500	1,5	750	408	306
PET	1,38	500	1,25	625	27	17
PVC	1,4	500	1,117	558,5	0	0
Recirkuliatas	0,937	500	-	794,5	451	358
Katalizatorius	0,356	670	1,15	770,5	27073	20859
Iš viso	-				31585	25801
Išeina:						
CO	1,25	600	1,02	612	48	29
CO ₂	1,799	600	0,839	503,4	203	102
Kuro dujos	-	600	-	1828	1224	2237
Benzino garai	0,735	600	-	1565,9	1076	1685
Dyzelino garai	0,973	600	-	1450,3	319	463
Dujos	0,937	600	-	1450,3	646	937
Benzenas	0,877	600	0,433	259,8	79	21
Toluenas	0,867	600	0,412	247,2	253	63
Ksilenas	0,865	600	0,41	246	529	130
Reakcijos šiluma	-	-	-	130	4512	587
Pirolizės koksas		600	2	960	135	130
Recirkuliuoto garai	0,937	600	-	1450,3	451	654
Katalizatorius	0,356	600	1,15	690	27073	18680
Šilumos nuostoliai	-	-	-	-	-	217
Iš viso			-		31585	25801

Remiantis šilumos balanso skaičiavimų rezultatais, apskaičiuojamas ir sudaromas katalizatoriaus regeneratoriaus šilumos balansas. Skaičiavimų rezultatai pateikiami lentelėje žemiau:

14 lentelė. Katalizatoriaus regeneratoriaus šilumos srautų balansas

Srautas	t, °C	C, kJ/(kg·K)	h, kJ/kg	G, kg/h	Q, MJ/h
Ieina:					
Katalizatorius	600	1,15	690	27073	18680
Koksas	600	2	1200	135	162
Oras	30	1	30	1624	49
Degimo šiluma	-	-	30000	135	4061

Iš viso				31585	22952
Išcina:					
Regeneruotas cirkuliuojantis katalizatorius	670	1,15	770,5	27073	20859
Dūmai	670	1,05	703,5	1760	1238
Šilumos perteklius (ir nuostoliai)	-	-	-	-	855
Iš viso	-	-	-	-	22952

3.1.3. Geometrinių duomenų skaičiavimas

Cirkuliuojančio katalizatoriaus kartotinumą k_c apskaičiuojamas pagal lygį:

$$k_c = \frac{G_c}{\dot{Z} + R} = \frac{27073}{4512 + 451} = 5,45 \quad (1)$$

čia: R – recirkuliuojamo masinis debitas, kg/h; $\dot{Z}$ – žaliavos masinis debitas, kg/h.

Katalizatoriaus masė liftreaktoriuje apskaičiuojama pagal lygtį, nurodytą žemiau:

$$G_{k,1} = \frac{(\dot{Z} + R)}{g_1} = \frac{(4512 + 451)}{130} = 38,18 \text{ kg} \quad (2)$$

čia: $g_1 = 130 \text{ h}^{-1}$, santykinis žaliavos masinis greitis (priimta vertė).

Priėmus prielaidą, jog katalizatoriaus koncentracija liftreaktoriuje c_1 yra 60 kg/m^3 , liftreaktoriaus tūris yra apskaičiuojamas pagal formulę nurodytą žemiau:

$$V_{r,1} = \frac{G_{k,1}}{c_1} = \frac{38,18}{60} = 0,64 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Toliau apskaičiuojamas vidutinis angliavandenilių garų tūrinis debitas liftreaktoriuje:

$$V_1 = 22,4 \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0} \sum \frac{G_{0,i}}{M_i} \cdot z = 22,4 \cdot \frac{101325}{300000} \cdot \frac{943}{273,15} \cdot 573 \cdot 1 = 14280 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3,97 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (4)$$

čia: T_0, P_0 – temperatūra ir slėgis normaliomis sąlygomis; $G_{0,i}$ – žaliavos ir produktų masiniai debitai, kg/h; T, P – temperatūra ir slėgis liftreaktoriuje; z – spūdimumo koeficientas.

Apskaičiavus garų turinį debitą liftreaktoriuje, reakcijos mišinio vidutinis išbūvimo laikas liftreaktoriuje t_1 skaičiuojamas pagal lygtį:

$$t_1 = \frac{V_{r,1}}{V_1} = \frac{0,636}{3,967} = 0,16 \text{ s} \quad (5)$$

Padarius prielaidą, jog katalizatoriaus išbūvimo liftreaktoriuje trukmė yra 2 sekundės, ir vidutinis garų greitis liftreaktoriuje $w_1 = 20 \text{ m/s}$, apskaičiuojama, jog liftreaktoriaus aukštis H_1 turi būti 40 metrų. Toliau skaičiuojamas liftreaktoriaus skerspjūvio plotas S_1 pagal lygtį:

$$S_1 = \frac{V_{r,1}}{H_1} = \frac{0,64}{40} = 0,016 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Žinant liftreaktoriaus skerspjūvio plotą S_1 , apskaičiuojamas liftreaktoriaus skersmuo D_1 :

$$D_1 = 2 \cdot \sqrt{\frac{S_1}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,016}{\pi}} = 0,142 \text{ m} \quad (7)$$

3.2. Statybiniai sprendimai

3.2.1. Bendrieji duomenys

Įmonė - naftos perdirbimo gamykla, kurios pagrindinė veikla – naftos produktų gamyba, perdirbimas ir realizavimas. Gamyklos teritorija užima 1200 ha plotą. Naujo įrenginio statybai buvo pasirinkta aikštelė lygiu reljefu. Aikštelės plotas įrenginio statybai – 6 ha. Vanduo, dujos šilumos energijai išgauti ir elektros energija gaunama iš įmonėje egzistuojančių pagalbinių komunikacijų (vandens valymo bloko, kuro dujų tinklo bei šiluminės elektrinės). Žemiau pateikiami bendrieji statinio techniniai rodikliai reikalingi įrenginio projektavimui.

15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1	I. SKLYPAS		
	1.1. sklypo plotas	ha	1200
	1.2. statinio užimtas žemės plotas	m ²	60 000
	1.3. apželdintas žemės plotas (žaliasis plotas)	m ²	1 000
	1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius	vnt.	0

Priimti ir aprašyti pagrindinio įrenginio duomenys, reikalingi įrenginio projektavimui. Minimieji duomenys pateikiami lentelėje nurodytoje žemiau.

16 lentelė. Pagrindiniai duomenys įrenginio projektavimui

Kaitinimo kameros aukštis, m	23,3 m
Kaitinimo kameros plotis, m	4,7 m
Dujinimo kameros plotis, m	18,4 m
Dujinimo kameros plotis, m	5,2 m
Pamato aukštis, m	2 m
Kaitimo kameros platformos aukštis, m	4 m
Dujinimo kameros platformos aukštis, m	8 m

3.2.1.1. Sklypo planas

Kadangi įmonės plotas didelis ir joje vyksta didelis žaliavos bei personalo judėjimas, numatyti automobilių keliai, skirti automobilių transportui ir žaliavos tiekimui. Automobilių keliai yra reikalingi žaliavų atvežimui, darbininkų atvežimui į darbo vietas ir patogiam avarinių mašinų privažiavimui avarinių situacijų metu. Egzistuojantis automobilių kelio plotis 4-6 metrų, o pravažiuojamas aukštis nėra mažesnis nei 4,5 metrų. Kadangi įrenginio teritorija priskiriama potencialiai sprogiai teritorijoje, įrenginio vietoje nėra įrengiamos stovėjimo aikštelės.

3.2.1.2. Projektuojamo pastato sprendimai

Įmonė - naftos perdirbimo gamykla, kurios pagrindinė veikla – naftos produktų gamyba. Pastato įrenginio ilgis L=300m, plotis B=200m, aukštis H=7,5. Įrenginio konstrukcijos vietoje naudojama danga – betoninė. Įrenginį numatoma statyti be pagalbinių pastato, t.y. pastatas numatomas po atviru dangumi.

3.2.1.3. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara

Gamybinės paskirties įrenginys gamykloje projektuojamas greta kitų gamybinių pastatų esančių gamyklinėje teritorijoje. Įrenginio numatomas gabaritas plane yra 200x300. Aukščiausias įrenginio taškas sieks 23,3 m.

3.2.2. Bendrųjų statinio inžinerinių sistemų, technologinės įrangos sprendimai

Bendrųjų statinio inžinerinių sistemų sprendimai, priimti projektuojant įrenginį nurodomi žemiau:

1. **Elektros šaltinis.** Gamykloje yra naudojama žaliaji elektra, pagaminama naudojant atsinaujinančiosios energijos šaltinius, t.y. vėją ir saulę.
2. **Vandens garai.** Vandens garai, naudojami gamykloje yra išgaunami gamyklos teritorijoje kituose gamyklos gamybiniuose padaliniuose.
3. **Vanduo.** Vandens srautas, skirtas aušinimui įrenginio šilumokaičiuose yra tiekiamas iš vandens valymo bloko įmonės teritorijoje.

Technologinės įrangos sprendimai, priimti projektuojant įrenginį nurodomi žemiau:

1. **Pamatai.** Projektuojamo įrenginio pamatai pagaminti iš betono ir yra skirti atlaikyti projektuojamo pirolizės reaktoriaus svorį.
2. **Apšvietimas.** Projektuojamo įrenginio statyba yra numatoma lauke, po atviru dangumi. Dėl šios priežasties, darbuotojai dirbdami dieną, lauke yra apšviečiami natūralaus apšvietimo. Tamsiuoju paros metu, numatytas dirbtinis apšvietimas. Apšvietimo prietaisai pritvirtinti prie lauke numatytų ir išdėstytų įrengimų.
3. **Stovėjimo aikštelė.** Projektuojamo technologinio įrenginio teritorijoje nėra numatytos automobilių stovėjimo aikštelės, kadangi norint įvažiuoti į technologinio įrenginio teritoriją, taikomi specialūs leidimai ir būvimas įrenginio teritorijoje yra ribotas, kadangi įrenginio teritorija yra potencialiai sprogį ir pavojinga.
4. **Reaktoriaus platforma.** Pasirinkta konstrukcinė medžiaga – plienas. Aptarnavimo platformos tikslas yra leisti įrenginyje dirbančiam operatorių personalui aptarnauti reaktorių.

3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Priimtas įrenginio veikimo laikas nurodytas lentelėje žemiau.

17 lentelė. Priimtas projektuojamo įrenginio darbo dienų skaičius

Rodiklis	Vertė	Matavimo vienetai
Įrenginio darbo dienų skaičius per metus	365	dienos
Kapitaliniam remontui numatytas sustojimas (kas 5 metus)	1	kartai
Kapitalinio remonto trukmė	30	dienų
Neplanuoti įrenginio sustabdymai per metus	14	dienų
Viso įrenginio darbo dienų skaičius per metus	345	dienų

Buvo priimta prielaida, jog įrenginys turi būti stabdomas kartą per 5 metus planuotam kapitaliniam remontui, taip pat nustatyta 14 dienų neplanuoto įrenginio sustabdymo trukmė per metus. Ekonominiams skaičiavimams naudojama projektuojamo įrenginio darbo dienų trukmė lygi 345 dienoms.

3.3.1. Projektuojamo technologinio įrenginio įrengimų bei statybos kaštai

Pagal priimtą proceso technologinę schemą, apskaičiuotos išlaidos susijusios su įrenginiui reikalingų technologinių aparatų įsigijimu. Skaičiavimų rezultatai pateikiami lentelėje žemiau.

18 lentelė. Kapitalinių kaštai technologinio įrenginio įrangai įsigyti

Aparato pavadinimas	Vienetų kiekis	Kaina, mln. EUR	Procentinė kapitalinių išlaidų dalis, %
Konvejeris	2	0,195	0,62
Smulkintuvas	1	0,238	0,76
Džiovin tuvas	1	0,012	0,04
Sudeginimo krosnis/regeneratorius	1	0,202	0,64
Krosnis	1	1,9	6,04
Dechlorinimo reaktorius	1	1,7	5,40
Ekstruderis	1	0,091	0,29
Pirolizės reaktorius	1	13,97	44,41
Ciklonas	2	0,383	1,22
Vamzdelinis šilumokaitis	3	0,218	0,69
Vandeninis aušintuvas	11	1,32	4,20
Kompresorius	2	0,483	1,54
Orinis aušintuvas	7	0,238	0,76
Separatorius	2	0,383	1,22
Talpykla	8	0,68	2,16
Reboileris	7	0,595	1,89
Išcentrinis siurblys	14	3,571	11,35
Rektifikacijos kolona	6	4,8	15,26
Ekstraktorius	1	0,48	1,53
Viso:		31,459	100,00

Apskaičiuojamos su technologinio įrenginio statyba susijusios išlaidos. Priimta, jog sklypo kaina į su statyba susijusius kaštus neįeina, kadangi sklypas, kuriame projektuojamas technologinis įrenginys yra įmonės, kurioje įrenginys projektuojamas, nuosavybė. Skaičiavimų rezultatai pateikiami lentelėje nurodytoje žemiau.

19 lentelė. Su technologinio įrenginio statyba susijusios išlaidos

Darbų kategorijos arba išlaidų pavadinimas	Kaina, mln. EUR	Procentinė kapitalinių išlaidų dalis, %
Technologinio įrenginio įrangos įrengimo išlaidos	23,378	89,65
Statybų aikštelės paruošimas statybai	1,000	3,83
Garų sistemos pajungimas, praplėtimas	0,500	1,92
Elektros sistemos pajungimas, praplėtimas	0,300	1,15
Aušinimo vandens sistemos pajungimas, praplėtimas	0,450	1,73
Šildymo vandens sistemos pajungimas, praplėtimas	0,450	1,73
Viso:	26,078	100

3.3.2. Gamybos kaštai

Pirolizės proceso vykdymui reikalingas medžiagos – proceso žaliava ir papildomai tiekiamas katalizatorius. Proceso pagrindinę žaliavą sudaro LDPE, HDPE ir PP tipo plastiko atliekos. Minėtos

plastiko atliekos yra perkamos iš tiekėjo. Apie 35 % procesui reikalingo ZSM-5 tipo katalizatoriaus yra gaunama iš naftos perdirbimo gamykloje egzistuojančio katalizinio krekimo įrenginio, likusi procesui reikalingo katalizatoriaus dalis yra perkama. Žemiau pateikiami kaštai, susiję su proceso vykdymui reikalingų pagrindinių žaliavų ir medžiagų pirkimu:

20 lentelė. Pagrindinių medžiagų poreikio, išlaidų planas

Medžiaga	Gamybos planas, t/metus	Medžiagos kaina, EUR/t	Žaliavos suvartojimas vienai tonai tikslinio produkto išskirti, t/t	Kaštai, EUR/metus	Kaštai vienai tonai produkto pagaminti, EUR/t
Proceso žaliava	37510	70	1,035	2717792	72
ZSM-5	141333	700	0,489	48378378	342
Sulfolanas	37360	13000	0,006	2169040	58
Viso				53265211	473

Projektuojamame technologiniame įrenginyje numatyti įrengimai vartojantys elektros energiją. Šie įrengimai apima: išcentrinis siurblius, orinius aušintuvus ir kompresorius. Elektros kainai priimti buvo remtasi Lietuvos energetikos kainos prognoze 2030 metams [17]. Žemiau pateikiamos elektros energijos išlaidos, susijusios su minėtų įrengimų eksploatavimu:

21 lentelė. Tiesioginės elektros energijos išlaidos

Įrengimas	Įrengimų skaičius, vnt	Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, kW	Variklių galingumo panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros energijos poreikis jėgai, kW	Elektros 1 kWh kaina, EUR	Išlaidos elektros energijai, tūkst. EUR
Išcentriniai siurbLIAI	14	110	0,92	8280	13860000	0,114	1580
Ciklonai	2	55	0,95	8280	958737	0,114	109
Oriniai aušintuvai	7	100	0,85	8280	6818824	0,114	777
Kompresoriai	2	100	0,95	8280	1743158	0,114	199
Kiti	-	150	-	8280	1242000	0,114	142
Viso							2807

Be elektros energijos išlaidų, projektuojamas plastiko atliekų pirolizės technologinis įrenginys taip pat vartos didelį kiekį aušinimo vandens ir vandens garo vandeninių aušintuvų bei šilumokaičių eksploatavimui. Išlaidos, susijusios su aušinimo vandens ir vandens garo vartojimu pateikiamos lentelėje žemiau:

22 lentelė. Vandens garo, aušinimo vandens išlaidos

Gaminio pavadinimas	Didžiausias paros debitas, m ³ /h	Vidutinis metinis kiekis, m ³	Vandens kaina, Eur/m ³	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
Vandens garas	150	1242000	0,3	373
Aušinimo vanduo	50	414000	5	2070
Viso:				2443

Priimta, jog projektuojamas technologinis įrenginys bus stabdomas planiniam remontui kas penkerius metus. Išlaidos patiriamos dėl planinio remonto nurodomos lentelėje žemiau.

23 lentelė. Tiesioginiai kaštai, susiję su įrenginio planiniu remontu

Projekto gyvavimo metai	Priežiūrai, remontui reikalingų darbuotojų skaičius/mėn.	Mėnesinis darbo užmokestis vienam darbuotojui, Eur/mėn.	Darbo užmokestis, tūkst. Eur/mėn	Atsiskaitymai socialiniam draudimui, tūkst. Eur./mėn	Viso, tūkst. Eur
5	18	2800	50400	89	50489
10	18	3107	55919	99	56018
15	18	3447	62042	110	62152
20	18	3824	68836	122	68958
25	18	4243	76374	135	76509

Įrenginio kasdieniniam eksploatavimui numatytas personalas: technologinio įrenginio viršininkas, inžinierius du operatoriai ir vienas vyr. operatorius. Skaičiavimams priimta, jog įrenginiui nedirbant, personalui bus mokamas darbo užmokestis. Darbas vykdomas 5 brigadomis. Numatomi personalo kaštai apskaičiuoti lentelėje žemiau:

24 lentelė. Gamybos kaštai ir išlaidos darbuotojams

Profesijos pavadinimas	Darbuotojų skaičius	Mėnesio alga, EUR/mėn.	Darbo užmokestis per metus, tūkst. EUR	Atskaitymai socialiniam draudimui per metus, tūkst. EUR	Viso išlaidos per metus, Eur/metūs
Įrenginio viršininkas	1	3800	45,6	0,8	46,4
Įrenginio inžinierius	1	3000	36,0	0,6	36,6
Vyr. operatorius	5	2900	174,0	3,1	177,1
Operatorius	15	2200	396,0	7,0	403,0
Viso:	22	-	651,6	11,5	663,1

Siekiant apskaičiuoti pagrindinių priemonių nusidėvėjimą (amortizaciją), buvo naudotas tiesinis pagrindinių priemonių sudėvėjimo apskaičiavimo metodas. Priimta normatyvinė eksploatavimo trukmė – 25 metai. Pirmų penkių technologinio įrenginio eksploatavimo metų pagrindinių priemonių nusidėvėjimo skaičiavimo rezultatai pateikiami lentelėje žemiau.

25 lentelė. Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas

Ilgaalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, mln. Eur	Normatyvinė eksploatavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur metams					Likutinė vertė, tūkst. Eur
			1	2	3	4	5	
Technologinė įranga	31,46	25,00	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	25,48

3.3.3. Netiesioginiai gamybos kaštai

Priimta, jog personalas dirba jau įmonėje egzistuojančioje operatorinėje valdymo stotyje. Dėl šios priežasties netiesioginės išlaidos gamybinių patalpų šildymui ir apšvietimui nėra skaičiuojamos. Žemiau pateikiamos netiesioginės išlaidos, susijusios su vandens (buičiai) suvartojimu.

26 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui (buičiai)

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 darb.	Poreikis metams, m ³	1 m ³ vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
Šaltam vandeniui	30	175,95	0,9	0,158
Kaštam vandeniui	30	175,95	5,9	1,038
Viso:	60	351,9	-	1,196
Ekspluatacinės išlaidos	-	-	-	0,12
Iš viso:	60	351,9	-	1,196

3.3.4. Veiklos kaštai

Projektuojamo technologinio įrenginio projektui būtina nustatyti veiklos kaštų apimtį, veiklos sąnaudos pateikiamos lentelėje žemiau.

27 lentelė. Veiklos sąnaudos

Išlaidų rūšys	Suma, tūkst.. Eur
1. Pardavimų sąnaudos:	
Prekių išvežimas	100
2. Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	
Administracijos darbuotojų darbo užmokestis	30
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,53
Energija(šiluminė ir elektros)	5
Viso:	135,53

Lentelėje aukščiau pateiktos nustatytos veiklos sąnaudos nesiekia 5 % gamyklos kaštų, dėl šios priežasties buvo priimta naudoti 5 % visų gamybos kaštų sumos vertę kaip veiklos kaštų apimtį (2959 tūkst. eurų).

3.3.5. Gaminių vertės skaičiavimas

Apskaičiavus tiesioginius ir netiesioginius gamybos kaštus galima apskaičiuoti gaminio gamybinę savikainą, pilnąją savikainą ir pardavimo kainą. Skaičiavimų rezultatai nurodomi suvestinėje žemiau:

28 lentelė. Gaminių kainos apskaičiavimas

Kaštų rūšys (komponentai)	Gaminiai							
	Kuro dujos	Benzino frakcija	Benzenas	Tolueno - Ksilenas frakcija	C ₉ -C ₁₀ frakcija	C ₁₁ -C ₁₂ frakcija	SND	Visa produkcija
Pagrindinės medžiagos, tūkst. Eur	53 265							
Energija (šiluminė, elektros), tūkst. Eur	2807							
Vandens garo, aušinimo vandens išlaidos, tūkst. Eur	2443							
Personalo išlaidos, tūkst. Eur	663							
Veiklos kaštai, tūkst. Eur	2959							

Produkcija, t/metus		7428,0	5200,0	656,0	6472,0	3708,0	2642,0	1013,0	36237,0
Gamybinė savikaina, tūkst. Eur/t		8,0	11,4	90,2	9,1	16,0	22,4	5,8	1,6
Pilnoji savikaina, tūkst. Eur/t		8,4	11,9	94,7	9,6	16,8	23,5	6,1	1,7
Pelno norma, <i>Pi</i>	15,0	15,0	17,0	17,0	15,0	10,0	18,0	15,9	15,9
	1,2	1,7	5,0	1,6	2,4	2,2	1,1	0,3	0,3
Pardavimo kaina, tūkst. Eur/t		9,6	13,7	99,7	11,2	19,2	25,8	7,2	2,0

3.3.6. Projekto pelnas ir gryųjų pinigų srautai

Apskaičiavus gaminio kainą, sudaroma pelno ataskaita. Siekiant sudaryti pelno ataskaitą, priimama, jog pelnui taikomas 15 % pelno mokestis. Tolimesnių projekto gyvavimo metų prognozei sudaryti priimta, jog pardavimų pajamos, produkcijos gamybos kaštai ir veiklos sąnaudos didėja pagal 2,1 % metinės infliacijos vertę.

29 lentelė. Projekto pelno (nuostolio) ataskaita, mln. Eur

Rodiklis, mln. Eur	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Pardavimų pajamos	71,53	73,03	74,56	76,13	77,73
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	59,18	60,42	61,69	62,98	64,31
3. Bendras pelnas (nuostolis)	12,35	12,61	12,87	13,14	13,42
4. Veiklos sąnaudos	2,96	3,02	3,08	3,15	3,22
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	9,39	9,59	9,79	9,99	10,20
6. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	9,39	9,59	9,79	9,99	10,20
7. Pelnas mokestis	1,41	1,44	1,47	1,50	1,53
8. Grynasis pelnas (nuostolis)	7,98	8,15	8,32	8,50	8,67

3.3.7. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita

Skaiciuojami gauti ir išleisti pinigų srautai per ataskaitinį laikotarpį. Siekiant prognozuoti piniginius srautus, buvo atskirai apskaičiuoti įmonės veiklos piniginiai srautai bei pinigų srautai iš finansinės ir investicinės veiklos. Pinigų srautai skaičiuoti netiesioginiu būdu, t.y., prie grynojo pelno pridėjus susidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudas ir iš vertės atimant papildomas investicijas ir apyvartinį kapitalą.

Siekiant sudaryti finansinės būklės pakitimų ataskaitą, pirma sudaryta apyvartinių lėšų ataskaita. Priimta, jog pirmųjų nulinių projekto gyvavimo metų apyvartinių lėšų suma sudaro 30 procentų pirmųjų gyvavimo metų apyvartinių lėšų sumos. Priimta, jog apyvarta trunka 45 dienas. Žemiau nurodomas trumpalaikio turto poreikis:

30 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis

Rodiklis, mln. Eur	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
1. Gamybos kaštai	-	59,18	60,42	61,69	62,98	64,31
2. Apyvartinių lėšų metinis poreikis	-	4,93	5,04	5,14	5,25	5,36
Apyvartinių lėšų papildomas poreikis	-	2,47	0,10	0,11	0,11	0,11
Apyvartinės lėšos	2,47	4,93	5,04	5,14	5,25	5,36

Žemiau nurodoma finansinės būklės pakitimų ataskaita, apskaičiuota sudarius trumpalaikio turto poreikio ataskaitą. Pilna finansinės būklės pakitimų ataskaita suteikiama 1 priede.

31 lentelė. Finansinės būklės pakitimų ataskaita

Eil. Nr.	Rodikliai	Projekto gyvavimo metai						
		0	1	2	3	4	5	6
I.	Pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos							
1.1.	Grynasis pelnas (nuostolis)	0,00	7,98	8,15	8,32	8,50	8,67	8,86
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	0,00	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	2,47	4,93	5,04	5,14	5,25	5,36	5,47
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos	-2,47	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,58
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos							
2.1	Ilgalaikio turto perleidimas (išigijimas)	31,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos	-31,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
III.	Grynieji metiniai pinigų srautai	-33,92	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,58

Apskaičiavus finansinės būklės pakitimus, toliau skaičiuojami diskontuoti pinigų srautai ir investicijų atsipirkimo laikotarpis.

3.3.8. Diskontuoti pinigų srautai ir investicijų atsipirkimo laikotarpis

Apskaičiuojami diskontuotų grynyų pinigų srautai, kurie yra pateikiami lentelėje žemiau. Priimama prielaida, jog nuosavas kapitalas siekia 100 % sumos ir akcininkai reikalauja 8,4 % grąžos. Šį sprendimą nulėmė tai, jog projektas yra orientuotas į tvarumą ir sutampa su įmonės ilgalaikės strategija.

32 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS	metiniai GPS	bendri GPS
0	-33,92	-33,92	-33,92	-33,92
1	4,25	-29,68	3,92	-30,01
2	4,31	-25,37	3,67	-26,34
3	4,37	-20,99	3,43	-22,91
4	4,44	-16,55	3,22	-19,69
5	4,51	-12,04	3,01	-16,68
6	4,58	-7,46	2,82	-13,85
7	4,65	-2,81	2,64	-11,21
8	4,72	1,91	2,48	-8,73
9	4,80	6,71	2,32	-6,41
10	4,87	11,58	2,18	-4,24
11	4,95	16,53	2,04	-2,20
12	5,03	21,56	1,91	-0,29
13	5,11	26,67	1,79	1,50
14	5,19	31,86	1,68	3,18
15	5,28	37,14	1,57	4,76
16	5,36	42,50	1,48	6,23
17	5,45	47,95	1,38	7,61

18	5,54	53,48	1,30	8,91
19	5,63	59,11	1,22	10,13
20	5,72	64,84	1,14	11,27
21	5,82	70,65	1,07	12,34
22	5,91	76,57	1,00	13,34
23	6,01	82,58	0,94	14,28
24	6,11	88,70	0,88	15,16
25	31,70	120,40	4,22	19,38

Apskaičiavus ir sudarius diskontuotų grynųjų pinigų ataskaitą apskaičiuojamas diskontuotas atsipirkimo periodas T – laikas, per kurį diskontuoti gryniesi pinigų srautai planuojam technologinio įrenginio statybos projektui padengia numatomas investicines išlaidas.

Atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T = T_{t-1} - \frac{BGPS_{t-1}}{GPS_t} = 12 + \left(\left| -\frac{0.29}{1.79} \right| \right) = 12,16 \text{ metai.}$$

čia: T – atsipirkimo laikas, $BGPS_{t-1}$ – suminis pinigų srautas prieš visišką išmokų padengimą, T_{t-1} – metai prieš visišką išmokų padengimą, GPS_t – visiško padengimo metų grynasis pinigų srautas.

Projekto įgyvendinimo laikotarpis yra 25 metai, kadangi apskaičiuotas diskontuoto investicijų atsipirkimo laikotarpis $T < 25$ metai, projektas yra priimtinas. Projekto atsipirkimo laikas buvo apskaičiuotas remiantis 32 lentelės duomenimis.

3.3.9. Ekonominių rodiklių skaičiavimas

Toliau pateikiamas pagrindinių ekonominių rodiklių skaičiavimas. Skaičiuojami ekonominiai rodikliai apima:

- Grynoji esamoji vertė (GEV);
- Vidinė pelno norma (IRR);
- Pelningumo indeksas (PI);
- Lūžio taškas;

3.3.9.1. Grynosios esamosios vertės GEV skaičiavimas

Susumavus grynuosius pinigų srautus GPS ir diskontuotus kapitalo kaštus gauta grynoji esamoji vertė. Tai yra visų projekto diskontuotų pinigų srautų suma pradedant nulinais metais. GEV rodiklis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$GEV = GPS_0 + \sum_{t=1}^n \frac{GPS_t}{(1 + KK)^t} = 19,38 \text{ mln. EUR.}$$

čia: KK - kapitalo kaina/diskonto norma, GPS – grynasis pinigų srautas, n – metai, t – metų skaičius.

Kadangi apskaičiuota GEV reikšmė yra teigiama, projektas yra priimtinas. Nustatyta, jog įmonės turtas įgyvendinus planuojamą projektą padidės 19,38 mln. eurų suma.

3.3.9.2. Vidinės pelno normos (angl. IRR) skaičiavimas

Vidinė pelno norma apsaiko diskonto normą, kuri apsaiko planuojamo technologinio projekto pinigų įplaukų dabartinės vertės prilyginimą projekto būsimųjų išlaidų dabartinei vertei. Vidinė pelno norma apskaičiuojama pagal išraišką:

$$GEV = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{GPS_t}{(1 + IRR)^t}$$

Vidinė pelno norma apskaičiuota *Microsoft Excel* programine įranga ir yra lygi 13,69 %.

3.3.9.3. Pelningumo indekso PI skaičiavimas

Pelningumo indeksas yra diskontuotų įplaukų sumos ir diskontuotų išmokų sumos santykis ir parodo santykinį projekto pelningumą arba dabartinę projekto vertę, tenkančią dabartinių išlaidų vienam piniginiam vienetui. Apskaičiuojamas pagal formulę žemiau:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n (+)GPS_t}{\sum_{t=1}^n (-)GPS_t} = 1,57$$

čia: (+)GPS – diskontuotų teigiamų grynujų pinigų srauto suma, (-)GPS – diskontuotų neigiamų grynujų pinigų srauto suma.

Nustačius, jog pelningumo indekso vertė yra didesnė nei vienetas (1.57), galima priimti, jog projektas yra priimtinas.

Apskaičiuoti projekto ekonominiai rodikliai yra apibendrintai pateikiami lentelėje nurodytoje žemiau:

33 lentelė. Planuojamo projekto pagrindiniai ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	12,16
Grynoji esamoji vertė (GEV)	mln. Eur	19.38
Vidinė pelno (grąžos) norma (IRR)	%	13.69
Pelningumo indeksas (PI)	koeficientas	1,57

3.3.10. Lūžio taško skaičiavimas

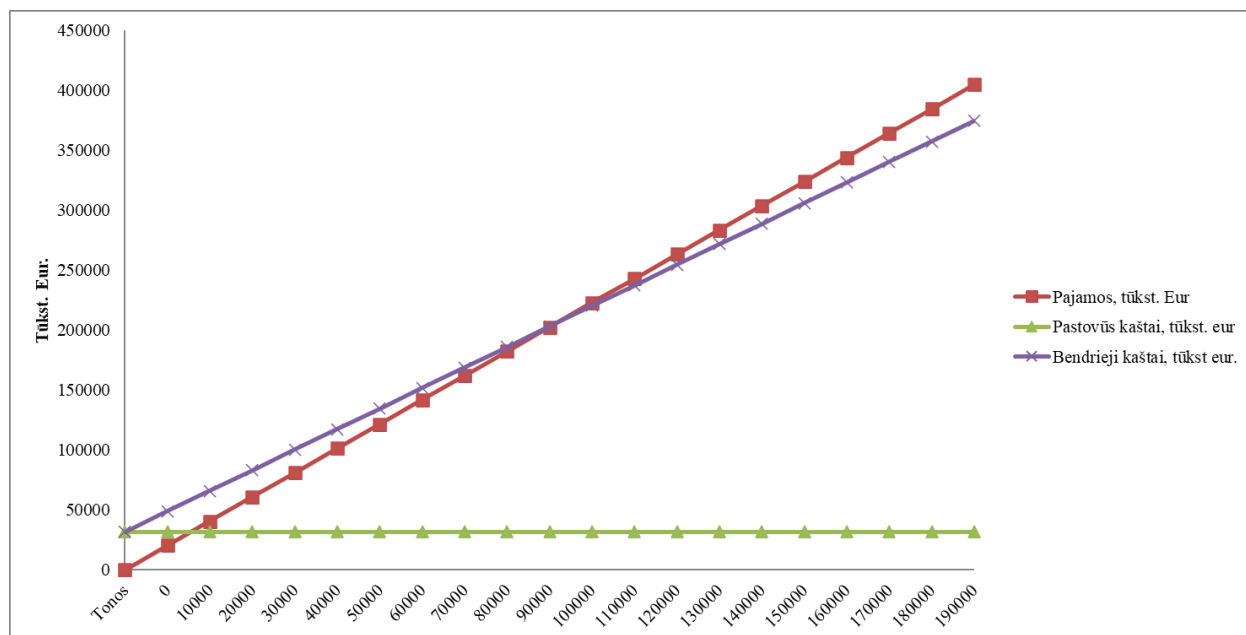
Šioje dalyje apskaičiuojamas lūžio taškas ir sudaromas jam atitinkamas grafikas. Lūžio taškas apsaiko gamybos ir pardavimų apimtį, kuriai esant bendrosios pajamos tampa lygios bendriesiems gamybos kaštams ir įmonės pelnas tampa lygus nuliui. Nustačius lūžio tašką, sužinoma, kiek produkcijos reikia pagaminti ir parduoti, kad įmonės veikla taptų pelninga.

Lūžio taškas apskaičiuojamas naudojantis brandos metų duomenimis pagal vidutinį produkcijos našumą (36237 tonų per metus) ir yra skaičiuojamas pagal formulę:

$$B_{Lj} = \frac{PK_j}{(C_j - VKK_j)} = \frac{31\,459\,000}{(2023 - 1715)} = 101924 \text{ tonų.}$$

čia B_{Lj} - j-ojo gaminio pardavimo apimtis lūžio taške, vnt; C_j - j-ojo gaminio vieneto kaina, Eur; PK_j - j-ajam gaminiui priskiriama pastoviųjų kaštų suma, Eur; VKK_j - j-ojo gaminio vidutiniai kintamieji kaštai (gamybinė savikaina), Eur.

Aukščiau apskaičiuotas lūžio taškas vaizduojamas grafiškai diagramoje nurodytoje žemiau.



7 pav. Lūžio taško atvaizdavimas

3.3.11. Pagrindiniai ekonominiai rodikliai

Atlikus visus reikalingus finansinius ir ekonominius projekto skaičiavimus, pagrindiniai ekonominiai rodikliai pateikiami projekto kaštų ir finansavimo šaltinių ataskaitoje (34 lentelė) ir pagrindinių ekonominių rodiklių ataskaitoje (35 lentelė).

34 lentelė. Finansavimo šaltinių ataskaita

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	Mln. Eur	Struktūra	Mln. Eur
1. Ilgalaikiam turtui įsigyti, tarp jo gamybos priemonėms	31,46	1. Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	33,92
2. Trumpalaikiam turtui įsigyti, tarp jo žaliavoms ir pagrindinėms medžiagoms	2,47	2. Paskolos	0
3. Su technologinio įrenginio statyba susijusios išlaidos	26,08	-	-
Viso	33,92		33,92

35 lentelė. Pagrindinių ekonominių rodiklių ataskaita

Rodikliai	Projekto brandos metai (3)
1. Produkcijos pardavimo apimtis, t/metus	
Kuro dujos	7428
Benzino frakcija	5200
Benzenas	656
Tolueno-Ksilenos frakcija	6472
C9-C10 frakcija	3708
C11-C12 frakcija	2642

SND	10131
2. Pardavimų pajamos, tūkst. Eur	74,56
3. Įmonės personalas, žmonėmis	22
4. Darbuotojų našumas, tūkst. Eur	3,39
5. Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	29618,2
6. Gamybos kaštai, tūkst. Eur	59,18
7. Gaminio pilnoji savikaina, tūkst. Eur/t	1,7
Kuro dujos	9,6
Benzino frakcija	11,9
Benzenas	94,7
Tolueno-Ksilenų frakcija	9,6
C9-C10 frakcija	16,8
C11-C12 frakcija	23,5
SND	6,1
8. Grynas pelnas, mln. Eur	8,32
10. Investicijų apimtis, mln. Eur	-33,92
16. Apyvartų skaičius per metus	12
17. Apyvartos trukmė, dienomis	30
18. Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, mln. Eur	0,069
19. Projekto kapitalo kaštai, %	8,40
20. Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	12,16
21. Projekto grynoji esamoji vertė, mln. Eur	19,38
22. Vidinė pelno norma, %	13,7%
24. Pelningumo indeksas	1,57

3.4. Aplinkosauginis vertinimas

Aplinkosauginio vertinimo skyriuje įvertinamas pirolizės proceso žaliavos, produktų ir procesų poveikis aplinkai. Žemiau nagrinėjamas tik projektuojamas technologinio proceso įrenginys.

3.4.1. Bendrieji duomenys

Pirolizės proceso žaliava apima plastiko atliekas, įrenginio nustatytas našumas yra 35000 tonų per metus. Žaliavų charakteristika pateikiama lentelėje nurodytoje žemiau.

36 lentelė. Pirolizės proceso žaliavų poveikis aplinkai

Žaliavos pavadinimas	UN kodas	Suvartojamas žaliavos kiekis, t	Cheminės medžiagos klasifikavimas		
			Kategorija	Pavojaus nuoroda	Pavojingumo frazės
Polipropilenas	1694	13198	Nepavojingas	-	-
Didelio tankio polietilenas	3919	12638	Nepavojingas	-	-
Mažo tankio polietilenas	3919	7924	Nepavojingas	-	-
Polivinil teraftalatas	3941	225	Nepavojingas	-	-
Polistirenas	7289	3379	Nepavojingas	-	-

Polivinilchloridas	1707	150	Nepavojingas	-	-
Sulfolanas	167	37360	Pavojingas	Pavojingas prarijus	H302, H360, H360FD
Kuro dujos	4940	45 000	Pavojingas	Degios, sprogios	H280, H220

Kadangi gamybos žaliava nėra priskiriama prie medžiagų, kurios yra pavojingos, perteklinė žaliava sandėliuojama žaliavai pritaikytose saugyklose.

Technologiniame įrenginyje elektros energija yra naudojama kompresorių, siurblių darbui ir apšvietimui. Šiluminė energija naudojama termofikaciniuose kaitintuvuose proceso srautų šilumai suteikti. Suvartojama energija kinta priklausomai nuo metų laiko ir gamybos našumo.

37 lentelė. Procesui reikalingos elektros ir šilumos energijos metinis suvartojimas

Energetinis išteklis	Energetinio ištekliaus suvartojimas, per metus	Matavimo vienetai	Energijos šaltinis
Šiluminė energija	42597302	kWh	Kuro dujų sudeginimas gamyklos krosnyse
Elektros energija	24622718	kWh	Bendrovės elektros tinklas

Žaliavos, reikalingos technologinio proceso vykdymui, transportavimo ir sandėliavimo planas pateikiamas lentelėje žemiau

38 lentelė. Proceso žaliavos transportavimo ir sandėliavimo planas

0	Žaliavos transportavimo būdas	Sandėliuojamas kiekis, t	Sandėliavimo tipas
Polipropilenas	Sunkusis autotransportas	2199	Sandėliavimui skirtose saugyklose
Didelio tankio polietilenas	Sunkusis autotransportas	1320	Sandėliavimui skirtose saugyklose
Mažo tankio polietilenas	Sunkusis autotransportas	2106	Sandėliavimui skirtose saugyklose
Polivinil teraftalatas	Sunkusis autotransportas	562	Sandėliavimui skirtose saugyklose
Polistirenas	Sunkusis autotransportas	37	Sandėliavimui skirtose saugyklose
Polivinilchloridas	Sunkusis autotransportas	25	Sandėliavimui skirtose saugyklose
ZSM-5	Sunkusis autotransportas	141333	Sandėliuojama proceso sistemoje
Sulfolanas	Sunkusis autotransportas	37360	Buferinė tirpalo talpa
Kuro dujos	Vamzdynais	45 000	Suskystintų dujų talpa

Technologinio proceso metu išskirtos produkcijos charakterizavimas bei poveikis aplinkai aprašomas lentelėje žemiau.

39 lentelė. Technologinio įrenginio produkcijos poveikis aplinkai

Produktas	Produkto kiekis per metus, t	Medžiagos klasifikavimas [18]		
		Medžiagos kategorija	Pavojaus nuoroda	Pavojingumo frazės
Benzino frakcija	5200	Pavojinga	Labai degūs skystis ir garai. Prarijus ir patekus į kvėpavimo takus, gali sukelti mirtį. Dirgina odą. Sukelia smarkų akių dirginimą. Gali sukelti genetinius defektus. Gali sukelti vėžį. Kenkia	H225, H304, H315, H319, H340, H350, H372, H412

			organams. Gali sukelti ilgalaikį kenksmingą poveikį vandens organizmams.	
Benzenas	656	Pavojinga	Labai degūs skystis ir garai. Prarijus ir patekus į kvėpavimo takus, gali sukelti mirtį. Dirgina odą. Sukelia smarkų akių dirginimą. Gali sukelti genetinius defektus. Gali sukelti vėžį. Kenkia organams. Gali sukelti ilgalaikį kenksmingą poveikį vandens organizmams.	H225, H304, H315, H319, H340, H350, H372, H412
Tolueno-ksileno frakcija	6472	Pavojinga	Labai degūs skystis ir garai. Prarijus ir patekus į kvėpavimo takus, gali sukelti mirtį. Dirgina odą. Sukelia smarkų akių dirginimą. Gali sukelti genetinius defektus. Gali sukelti vėžį. Kenkia organams. Gali sukelti ilgalaikį kenksmingą poveikį vandens organizmams.	H225, H304, H315, H319, H340, H350, H372, H412
C ₉ -C ₁₀ frakcija	3708	Pavojinga	Degūs skystis ir garai, kuriuos prarijus ar jiems patekus į kvėpavimo takus, gali sukelti mirtį. Dirgina odą bei sukelia smarkų akių dirginimą. Labai toksiška vandens organizmams. Toksiška vandens organizmams, sukelia ilgalaikius pakitimus.	H226, H304, H315, H319, H332, H336, H400, H410, H411
C ₁₁ -C ₁₂ frakcija	2642	Pavojinga	Prarijus ir patekus į kvėpavimo takus, gali sukelti mirtį. Sukelia smarkų akių dirginimą.	H304, H319

Pagal gaminių produkciją, galima priimti, jog dėl produktų išskyrimo, sandėliavimo ir transportavimo gali kilti ekologinė katastrofa, dėl toksiško mišinio patekusio į vandenį. Technologinio įrenginio produktai gali sukelti gaisrą. Taip pat, įkvėpus arba prarijus produkcija galima žala gyviems organizmams.

Žemiau nurodomas privalomas produkcijos transportavimas ir sandėliavimas. Minima informacija nurodoma lentelėje, pateiktoje žemiau.

40 lentelė. Produkcijos transportavimo ir sandėliavimo planas

Produkcija	Produkcijos transportavimo būdas	Sandėliuojamas kiekis, t	Sandėliavimo tipas
Benzino frakcija	Vamzdynais	2000	Naftos produkto rezervuaras
Benzenas	Vamzdynais	1000	Naftos produkto rezervuaras
Tolueno-ksileno frakcija	Vamzdynais	2000	Naftos produkto rezervuaras
C ₉ -C ₁₀ frakcija	Vamzdynais	2000	Naftos produkto rezervuaras
C ₁₁ -C ₁₂ frakcija	Vamzdynais	2000	Naftos produkto rezervuaras

Toliau aprašomas atliekų tvarkymo planas.

3.4.2. Atliekų tvarkymas

Atliekos projektuojamo technologinio įrenginio teritorijoje gali susidaryti dėl technologinio proceso, buitinės veiklos, įrenginio priežiūros ir remonto metu.

Dėl buitinės veiklos susidarančios atliekos gali įtraukti: plastiko atliekas, kartono ir popieriaus atliekas, tekstilės atliekas. Visos buitinės atliekos yra surenkamos, sandėliuojamos pagal visus saugumo reikalavimus, rūšiuojamos ir personalo periodiškai išvežamos į atitinkamus surinkimo punktus gamykloje.

Įrenginio planinių remontų metų, darbuotojams dirbant su statybinėmis medžiagomis, kurios savo sudėtyje turi asbesto, susidaro asbesto atliekos. Asbesto atliekos yra kruopščiai surenkamos, sandėliuojamos ir transportuojamos į atitinkamą statybinių atliekų surinkimo punktą.

Dėl reguliarios kompresorių, orinių aušintuvų, šilumokaičių ir išcentrinų siurblių priežiūros susidaro įvairių, su vykdoma veikla susijusių atliekų. Jų tvarkymo planas pateikiamas žemiau.

41 lentelė. Atliekų tvarkymo plano suvestinė

Procesas	Atliekos pavadinimas	Atliekos kiekis, t/metus	Agregatinė būseną	Kodas	Kategorija	Laikymo sąlygos	Maksimali sandėliuojama vertė, t	Tvarkymo būdas, kodas
Reguliari įrangos priežiūra	Metalo atliekos	0,5	Kieta	12 01 99	Nepavojinga	Sandėliavimo konteineriai	1	R301
	Naudoti tepalai	0,4	Kieta	*	Pavojinga	Naudotų tepalų talpykla	0,5	D10
	Filtrai atliekos	0,1	Kieta	05 01 99	Nepavojinga	Sandėliavimo konteineriai	0,5	R5
	Tekstilė	0,1	Kieta	20 01 10	Nepavojinga	Sandėliavimo konteineriai	0,1	D10
Administracinė veikla	Mišrios komunalinės atliekos	4	Kieta	20 03 01	Nepavojinga	Sandėliavimo konteineriai	1	D13

3.4.3. Fizikinė tarša

Eksplatuojant projektuojamą technologinį įrenginį bus sukeliamą fizikinė tarša. Fizikinės taršos šaltinių rūšis apima triukšmą ir fizikinės taršos šaltiniai yra nurodomi lentelėje žemiau.

42 lentelė. Fizikinė tarša

Taršos rūšis	Šaltinis	Vienetų skaičius	Taršos šaltinio sukeliama garso vertė, dB
Triukšmas	Išcentriniai siurbliai	14	78
Triukšmas	Kompresoriai	2	80
Triukšmas	Orinis aušintuvas	7	85

Remiantis Lietuvos higienos normomis, žinoma, jog gamyklose maksimali taršos šaltinio sukeliama garso vertė negali viršyti 87 dB vertės. Pagal duomenys, nurodytus minėtoje lentelėje, fizikinės taršos sukeliama triukšmo vertė neviršija maksimalios leistinos vertės. Darbuotojai, dirbami technologiniame įrenginyje, nors yra nėra viršijama maksimali leistina triukšmo vertė, privalo dėvėti apsaugines ausines siekiant apsaugoti nuo potencialaus pavojaus, kylančio dirbant įrenginyje ilgą laiką.

3.4.4. Biologinė tarša

Projektuojame technologiniame įrenginyje, nėra nustatyta biologinė tarša, susidaranti taikant technologinį plastiko atliekų perdirbimo pirolizės metodu procesą.

3.4.4.1. Vandens nuotekų ir teršalų balansai

Projektuojamame technologiniame įrenginyje bus naudojamas aušinimo vanduo, skirtas ataušinti įvairius technologinius srautus įrenginio technologinėje schemoje. Minimas aušinimo vanduo gali būti tiekiamas vandens garo gavybai, taip sukuriant vandens garo srautą, reikalingą technologinių srautų pašildymui arba į egzistuojantį vandens valymo bloką įmonės teritorijoje. Žemiau nurodomas naudojamas vandens srauto balansas.

43 lentelė. Vandens srautų balansas

Vandens srauto paskirtis	Didžiausias paros debitas, m^3/h	Vidutinis metinis kiekis, $m^3/metus$	Srauto taupymas ir naudojamos apsaugos priemonės
Vandens garas	150	1242000	Srauto nukreipimas į vandens valymo bloką, kuriame atliekamas mechaninis ir biologinis vandens valymas.
Aušinimo vanduo	50	414000	Srauto nukreipimas į vandens valymo bloką, kuriame atliekamas mechaninis ir biologinis vandens valymas.
Viso:	250	1656000	-

Visas įrenginyje suvartojamas vanduo yra nukreipiamas į gamykloje egzistuojantį vandens valymo bloką, kuriame vanduo yra biologiškai išvalomas. Cheminis vandens valymas atliekamas gamyklos teritorijoje numatytoje šiluminėje elektrinėje.

Kitos gamybiniame procese susidaranti nuotekos (buitinėms paskirtims skirtas vanduo) nėra pavojingos. Dėl šios priežasties tolimesnė šių nuotekų analizė nebus atliekama.

3.4.4.2. Oro tarša

Projektuojamame technologiniame įrenginyje numatyta, jog šilumai ir garui generuoti reikalinga šiluma yra gaunama iš tiekiamų kuro dujų į gamyklos krosnis. Apskaičiuotas kuro dujų kiekis, leidžia apskaičiuoti, koks kiekis anglies dvideginio, sieros dioksido ir azoto oksidų ir anglies monoksido bus išskirtas į aplinką. Šių medžiagų kiekiai yra kontroliuojami ir ribojami. Bendra aplinkos taršos suvestinė pateikiama lentelėje žemiau.

44 lentelė. Oro taršos suvestinė

Technologinis procesas	Taršos šaltinis		Teršalai		Numatytas taršos kiekis		
	Pavadinimas	Kodas	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis, $\mu m/m^3$		Metinė vertė, t/m
					Vidutinė vertė	Maksimali vertė	
Kuro dujų deginimas	Kuro dujas deginančios krosnys	010306	SO ₂	1753	2	15	1350
			NO _x	250	11	32	135
			CO	177	3	7	45

Kadangi technologinio proceso metu gaunami produktai yra talpinami rezervuaruose, būtina įvertinti galimybę lakiesiems organiniams junginiams (LOJ) patekti į atmosferą. Lakiųjų organinių junginių patekimas į atmosferą yra reglamentuojamas ir griežtai ribojamas. Junginiams nustatytos kontrolinės ribos yra pateiktos lentelėje nurodytoje žemiau [19].

45 lentelė. Lakiųjų organinių junginių (LOJ) sandėliavimas ir ribojimai

Procesas	Taršos šaltinis		Teršalai		Maksimali nustatyta vertė, mg/m ³
	Pavadinimas	Kodas	Pavadinimas	Kodas	
Sandėliavimas	Benzenas	225	LOJ	308	0,5
	Toluenas – ksilenas	225	LOJ	308	0,5
	Benzinas	208	LOJ	308	0,5
	Dyzelino frakcija	205	LOJ	308	0,5
	SND	303	LOJ	308	0,5

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Žemiau aprašomame skyriuje nurodyti šie darbuotojų saugos ir sveikatos aspektai:

- projektuojamo objekto charakteristika;
- profesinės rizikos vertinimas ir saugios gamybos vykdymas;
- darbo higiena;
- gaisrinė sauga.

4.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Projektuojamas objektas – plastiko atliekų pirolizės proceso technologinis įrenginys. Numatomas įrenginys yra projektuojamas naftos perdirbimo gamyklos įmonės gamybinėje teritorijoje. Nustatyta sanitarinė zona – 1000 metrų. Tokį sanitarinės zonos dydį apibrėžia Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymo 2 priedas [20]. Projektuojamo įrenginio numatytas išdėstymas yra po atviru dangumi. Kadangi technologinio įrenginio operatorinė valdymo stotis nėra projektuojama ir šiam tikslui panaudota esama stotis, rizika operatorinėje valdymo stotyje nėra vertinama.

4.2. Profesinės rizikos vertinimas ir saugios gamybos vykdymas

Žemiau aprašomas profesinės rizikos vertinimas, nustatomi profesinės rizikos veiksniai, turintys galimybę susidaryti darbo metu projektuojamame technologinio proceso įrenginyje. Šie veiksniai yra įvertinami ir nustačius tikėtiną riziką, minėtiems veiksniams yra randami sprendimai, kurie sumažina profesinės rizikos tikėtumą iki toleruotinos rizikos.

Pagal profesinės rizikos vertinimo bendruosius nuostatus [21], pagrindiniai rizikos vertinimo etapai yra nurodyti žemiau:

- parengiamieji darbai;
- rizikos veiksnių tyrimas, rizikos dydžio nustatymas, sprendimo dėl rizikos priimtimumo priėmimas;
- rizikos pašalinimas ar sumažinimas;
- rizikos stebėjimas.

Siekiant atlikti profesinės rizikos vertinimą, nustatomos potencialiai pavojingos zonos projektuojamame technologinio proceso įrenginyje. Šios zonos nurodomos žemiau:

- dechlorinimo reaktorius;
- pirolizės proceso reaktorius;
- sudeginimo krosnis / regeneratorium;
- šilumokaičių zona;
- siurblių zona;
- kompresorių zona;
- separatorių ir talpyklų zona.

Projektuojamame technologinio proceso įrenginyje galima susidurti su įvairiomis cheminėmis medžiagomis bei cheminiais rizikos veiksniais. Esminių cheminių medžiagų pavojingos cheminės savybės pateikiamos lentelėje nurodytoje žemiau [22]:

46 lentelė. Cheminių medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai ir kitos charakteristikos

Eil. Nr.	Medžiaga	Pavojingumo klasė	Temperatūra, °C		Sprogumo riba, %		Poveikis žmogui, toksiškumo charakteristika	Ribinė medžiagos vertė darbo aplinkoje, ore, mg/m ³
			Pliūpsnio	Savaiminio užsiliepsnojimo	Apatinė	Viršutinė		
1	Benzenas	4	-11	498	1,2	7,8	Galvos svaigimas, mieguistumas, galvos skausmas, pykinimas, dusulys, traukuliai, sąmonės netekimas.	3,25
2	Toluenas	4	4,4	480	1,1	7,1	Gerklės skausmas, kosulys, galvos svaigimas, mieguistumas, galvos skausmas, pykinimas, sąmonės netekimas.	200
3	Ksilenas	4	30	465	0,9	7,6	Galvos svaigimas, mieguistumas, galvos skausmas, pykinimas.	221
4	Vandenilio chloridas	4	-	-	-	-	Įkvėpus: kosulys, gerklės skausmas, deginimo pojūtis, dusulys, pasunkėjęs kvėpavimas. Patekus ant odos: paraudimas, skausmas, imti odos nudegimai.	8
5	Anglies monoksidas	0	-191	609	12,5	74,2	Veikia kraują, sukelia deguonies badą. Skauda galvą, atsiranda bendras silpnumas, pykinimas, pagreitėja širdies plakimas.	100

Projektuojamam technologiniam įrenginiui nustatyti fizikiniai veiksniai nurodyti lentelėje žemiau [22]:

47 lentelė. Fizikiniai profesinės rizikos veiksniai projektuojamam technologiniam įrenginiui [22]

Profesinės rizikos veiksnys	Rizikos veiksnio nustatymo vieta	Maksimali proceso vertė, neįrengus prevencinių priemonių	Ribinė vertė, įdiegus prevencines priemones	Prevencinė priemonė
-----------------------------	----------------------------------	--	---	---------------------

Apšvieta	Technologinio įrenginio teritorija	300 lx	>200 lx	Nereikia jokių papildomų veiksmų
Triukšmas	Siurblių zona	70 dBA	-	Nereikia jokių papildomų veiksmų
Triukšmas	Kompresorių zona	75 dBA	-	Nereikia jokių papildomų veiksmų

Projektuojamam technologiniam įrenginiui nustatyti fiziniai veiksniai nurodyti lentelėje žemiau:

48 lentelė. Fiziniai profesinės rizikos veiksniai

Profesinės rizikos veiksnys	Rizikos veiksnio nustatymo vieta	Maksimali proceso vertė, neįrengus prevencinių priemonių	Ribinė vertė, įdiegus prevencines priemones	Prevencinė priemonė
Temperatūra	Dechlorinimo reaktorius	300 °C	35 °C	Izoliacija temperatūrai
Temperatūra	Pirolizės proceso reaktorius	600 °C	35 °C	Izoliacija temperatūrai
Temperatūra	Sudeginimo krosnis / regeneratorium	670 °C	35 °C	Izoliacija temperatūrai
Temperatūra	Šilumokaičių zona	170 °C	35 °C	Izoliacija temperatūrai
Elektros srovė	Siurblių zona	-	-	Darbuotojams išduodamos antistatinės AAP, įranga yra įžeminama
Elektros srovė	Kompresorių zona	-	-	Darbuotojams išduodamos antistatinės AAP, įranga yra įžeminama

Remiantis atliktu profesinės rizikos vertinimu, projektuojamam pirolizės proceso technologiniam įrenginiui nustatyti pagrindiniai veiksniai, kurie gali paveikti projektuojamo įrenginio personalą. Minimieji veiksniai įtraukia: potencialų įvairių dujų pratekėjimą, slėginių indų sprogimą, susižeidimas dėl karšto paviršiaus, susižeidimas dėl aukštos elektros srovės, susižeidimas dėl darbo dideliame aukštyje.

Siekiant, jog dirbantis personalas būtų apsaugotas nuo rizikos analizės metu aptiktų veiksmų, dirbantis personalas privalo dėvėti asmenines apsaugos priemones (AAP), kurios įtraukia [23]:

- apsauginius šalmus;
- ausines, tvirtinamas prie apsauginių šalmų;
- apsauginiai veido skydeliai;
- pirštines apsaugančias nuo cheminio poveikio bei aukštos temperatūros;
- antistatinius batus su aukštesniu aulu;
- apsaugines liemenes ir švarkus apsaugančius nuo cheminių medžiagų poveikio;
- prieinamose vietose laikomomis dujokaukėmis;
- dujų analizatoriais.

Asmeninės apsaugos priemonės yra valomos, skalbiamos ir dezinfekuojamos pagal gamintojo parengtoje naudojimo instrukcijose nurodytose rekomendacijas. AAP yra laikomos įmonės patalpose.

Dujų analizatoriai yra reguliatoriai kalibruojami ir tai nurodo ant analizatorių užklijuotas patvirtinantis lipdukas, be analizatoriaus yra draudžiama patekti į įrenginį. Lentelėje žemiau nurodytas pavojingos projektuojamo technologinio įrenginio zonų klasifikavimas pagal sprogo ir gaisro pavojų [24, 25], sprogos aplinkos susidarymo dažnumą:

49 lentelė. Projektuojamo technologinio įrenginio pavojingų zonų klasifikavimas

Pavojinga technologinio įrenginio zona	Įrenginių kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų	Pavojingos vietos klasifikavimas pagal sprogos aplinkos susidarymo dažnumą
Dechlorinimo reaktorius	A _{sgi}	2 zona
Pirolizės proceso reaktorius	A _{sgi}	2 zona
Sudeginimo krosnis / regeneratorius	A _{sgi}	2 zona
Šilumokaičių zona	A _{sgi}	2 zona
Separatorių ir talpyklų zona	A _{sgi}	2 zona
Siurblių zona	A _{sgi}	2 zona
Kompresorių zona	A _{sgi}	2 zona

Projektuojamame technologiniame įrenginyje elektros energiją naudojančios įrangos įtraukia visus numatytus siurblius bei kompresorius. Kadangi minėtose pavojingose įrenginio zonose gali susidaryti sprogi aplinka, naudotinos darbo priemonės bei apsauginės sistemos yra parenkamos pagal įrangos ir apsaugos sistemų, naudojamų potencialiai sprogoje aplinkoje, techniniu reglamentu [25]. Įranga suprojektuota ir pagaminta taip, jog įprastomis sąlygomis eksploatuojant įrangą, oro dulkių mišiniai užsidegtų nuo galimų užsiliepsnojimo šaltinių. Įranga, kabelių įvadai ir jungtys pagaminti taip, jog priklausomai nuo dulkių dalelių dydžio, jos nesudarytų sprogstamųjų mišinių su oru bei negalėtų pavojingais kiekiais susikaupti įrangoje [26].

Projektuojamo įrenginio teritorijoje numatytus slėginius indus, įvairias angliavandenilines talpas, vamzdinius ir kitus potencialiai sprogius įrengimus aptarnauja ir peržiūri tik tam specializuotas ir akredituotas personalas. Esant scenarijui, kai tai nėra atliekama, projektuojamo technologinio įrenginio viršininkas privalo informuoti valstybės institucijas apie atitinkamus nusižengimus atliekantį personalą, tokią priežiūros tvarką nustato pavojingų įrenginių priežiūros įstatymas [30].

4.3. Reikalavimai darbo higienai

Personalo buitinėse patalpose darbuotojai bei darbdavys užtikrinti Lietuvos higienos normų laikymąsi.

4.3.1. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose

Darbdavys privalo užtikrinti šiluminį komfortą technologiniam įrenginyje dirbančiam personalui. Kategorizuojant technologinio įrenginio operatoriaus darbo specifiką, pagal darbo specifiką, operatoriaus darbą atliekantis personalas yra skiriamas Ia darbo sunkumo kategorijai. Tai lemia žemiau nurodyta šiluminio komforto užtikrinimą [27]:

50 lentelė. Privalomas šiluminio komforto palaikymas

Darbo sunkumo kategorija	Šiltuoju metų laiku patalpoje užtikrinama temperatūra, °C	Šiltuoju metų laiku patalpoje užtikrinama temperatūra, °C
Ia	22-24	23-25

Taip pat, darbdavys privalo palaikyti santykinį oro drėgnumą ties 40-60 procentų verte bei oro judėjimo greitį ties 0,1 m/s.

4.3.2. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas

Darbdavys laikosi darbo vietos statinių, esančių išorėje, dirbtinės apšvietos ribinių verčių, kurios nurodytos lentelėje žemiau [28]:

51 lentelė. Darbo vietų statinių išorėje apšvietos ribinių verčių lentelė.

Eil. nr.	Zonos, veiklos ar užduoties tipas	Minimalus apšvietimas, lx
1	Technologinio proceso priežiūros įrangos valdymas, rankiniu būdu reguliuojamų utilizavimo vožtuvų naudojimas, variklių paleidimo ir sustabdymo, degiklių vietos	30
2	Birių medžiagų pakrovimo ir iškrovimo į vagonus ir konteinervežius, išsipylimo ir nutekėjimo iš vamzdynų priežiūra	50
3	Pavojingų medžiagų pakrovimo ir iškrovimo į vagonus ir konteinervežius, krovimo siurblių keitimo, bendrieji priežiūros darbai, prietaisų rodmenų nuskaitymas	100
4	Kuro pakrovimo ir iškrovimo zona	100
5	Technikos ir elektros prietaisų remontas	200

Darbdavys užtikrina, jog darbo vietų patalpų viduje apšvietos mažiausios ribinės vertės yra pasiekiamos. Pagal regos darbų kategoriją, viduje dirbančiam operatorių personalui priskiriama III kategorija. Tai aiškiai nurodo mažiausią ribinę apšvietos vertę – 500 lx. Minimalus natūralus apšvietimas turi būti palaikomas nuo 4 % ribos.

4.3.3. Triukšmas darbo vietoje

Personalui dirbant įrenginio teritorijoje, privaloma dėvėti AAP kaip tai reglamentuoja Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Darbuotojams individualiai išduodami šalmai su pritvirtintomis ausinėmis, kuriomis apsisaugoma nuo triukšmo keliamos rizikos.

Nustatius triukšmo keliamą riziką, ji yra šalinama arba kiek įmanoma sumažinama. Tai yra įvykdoma naudojant kitas darbo priemones, pakeičiant darbo vietų įrengimą, įrengiant pagalbinę įrangą, sumažinančią triukšmo veikimą ir taikant metodus, leidžiančius sumažinti triukšmo veikimą. Jeigu triukšmo negalima išvengti darbuotojai aprūpinami klausos priemonėmis, kurios yra pritaikytos konkrečiam darbuotojui ir parenkamos taip, jog klausai keliami rizika būtų sumažinta arba visiškai panaikinta [31].

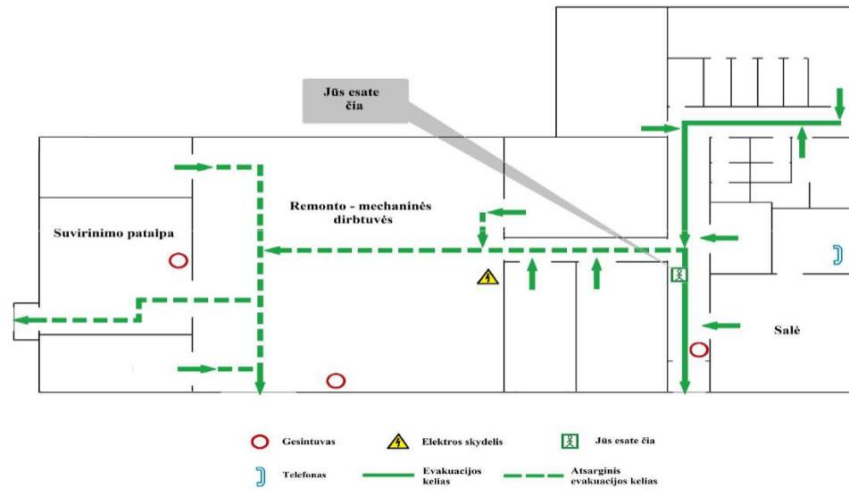
4.4. Gaisrinė sauga

Dirbantis personalas turi laikytis žemiau nurodytų gaisrinės saugos reikalavimų (bet neapsiriboti):

- rūkyti tik įmonės teritorijoje specialiai įrengtose ir atitinkamai pažymėtose vietose;
- užtikrinti, jog įrenginio siurbliai ir vamzdynai yra sandarūs;
- tikrinant rezervuarus, personalui būtina dėvėti kibirkščiavimo nesukeliantį avalinę bei el. krūvio nekaupiančius drabužius;
- perkūnijos metu, įrenginio personalui draudžiama matuoti produktų lygį, imti mėginius ir atlikti perpylimo darbus.
- užtikrinti, jog siurblinėse ir kompresorinėse yra iškabintos technologinių vamzdynų ir armatūros išdėstymo schemas, jos aiškiai matomos.

Kadangi projektuojamame technologiniame įrenginyje gali susidaryti gaisrai palankios aplinkybės, žmonių evakavimo planas privalo būti pakabintas kiekvieno pastato aukštuose, gerai matomoje vietoje. Aukšto žmonių evakavimo plane nurodomos: laiptinės, liftai, liftų holai, balkonai, kambariai, išorinės kopėčios, durys. Evakuaciniuose išėjimuose durys iš vidaus yra pritaikytos atsidaryti bet kuriuo paros metu ir evakuacinio plano zonoje pakabinti trys 6 kg svorio milteliniai gesintuvai su

magnetiniu žarnos laikikliu ir GTC sertifikatu – šis pasirinkimas buvo atliktas įvertinus pastato plotą bei potencialias degiąsias medžiagas, kurios yra sandėliuojamos eksploatuojamame pastate. Gesintuvai tinka A, B ir C klasių gaisrams gesinti. Visi įmonės darbuotojai yra supažindinami su evakuacijos planu. Žymėjimas užtikrinamas pagal Bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių 6 priedą [29]. Žemiau pateikiamas numatytas evakuacijos planas, kuriuo turi naudotis įrenginio personalas.



8 pav. Evakuacijos planas

Išvados

1. Literatūros tyrimo metu apžvelgta plastiko pirolizės, gaminant skirtingos paskirties produktus, mokslinė ir technologinė literatūra. Projektavimui pasirinktas reaktorius su judančio katalizatoriaus sluoksniu, priimta naudoti greitosios katalizinės pirolizės konfigūraciją taikant ZSM-5 tipo katalizatorių.
2. Tyrimo metu nustatyta, jog katalizatoriaus naudojimas padidino vertingųjų produktų išeigą lyginant produktų išeigą nekatalizinės pirolizės metu. Tyrimo metu nustatytos reakcijos išeigos buvo panaudotos projektuojamo technologinio įrenginio pirolizės reaktoriaus R-2 produktų išeigos sudarymui.
3. Gamybės apimčiai užtikrinti pasiūlyti inžineriniai sprendimai, sudaryti reaktoriaus R-2 masės bei šilumos balansai, apskaičiuotas liftreaktoriaus aukštis $H_l = 40$ m, liftreaktoriaus skerspjuvio plotas $S_l = 0,016$ m² ir liftreaktoriaus skersmuo $D_l = 0,142$ m.
4. Nubraižyti bei aprašyti projektuojamo įrenginio sklypo, pagrindinio įrenginio ir technologinės schemos brėžiniai, kurie buvo pateikti A1 formate.
5. Atliktas ekonominis ir finansinis vertinimas ir apskaičiuoti pagrindiniai ekonominiai rodikliai ($IRR = 13,7\%$, $PI = 1,57$, $GEV = 19,38$ mln. Eur.) įrodo, jog įrenginio statymas ir eksploatavimas atsiperka dvyliktaisiais įrenginio eksploatavimo metais.
6. Atliktas įrenginio aplinkosauginis vertinimas, nustatytos vidutinės SO₂, NO_x ir CO emisijų vertės (2, 11 ir 3 μm/m³, atitinkamai), aprašytas įrenginio atliekų valdymo planas.
7. Darbuotojų saugai užtikrinti buvo atliktas profesinės darbo rizikos saugos vertinimas. Buvo išrinktos reikalingos asmeninės apsaugos priemonės (AAP), sumažinančios darbuotojų riziką įrenginio darbo metu.

Literatūros sąrašas

1. Tariq Maqsood, Jinze Dai, Yaning Zhang, Mengmeng Guang, Bingxi Li. (2021) [žiūrėta 2025-03-04] *Pyrolysis of plastic species: A review of resources and products*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237021002813>.
2. Bartłomiej Igliński, Wojciech Kujawski, Urszula Kielkowska. (2023) [žiūrėta 2025-03-05]. *Pyrolysis of Waste Biomass: Technical and Process Achievements, and Future Development—A Review*. Prieiga per internetą: <https://repozytorium.umk.pl/bitstream/handle/item/6827/Pyrolysis%20of%20Waste%20Biomass.pdf?sequence=1>.
3. Mamta Devi, Sachin Rawat and Swati Sharma. (2021) [žiūrėta 2025-03-05]. *A comprehensive review of the pyrolysis process: from carbon nanomaterial synthesis to waste treatment*. Prieiga per internetą: <https://watermark.silverchair.com/itab014.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW>.
4. Jia Xing, Guoren Xu, Guibai Li. (2021) [žiūrėta 2025-03-06]. *Comparison of pyrolysis process, various fractions and potential soil applications between sewage sludge-based biochars and lignocellulose-based biochars*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765132031592X>.
5. Mika Pahnla, Aki Koskela, Petri Sulasalmi, Timo Fabritius. (2023) [žiūrėta 2025-03-06]. *A Review of Pyrolysis Technologies and the Effect of Process Parameters on Biocarbon Properties*. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/19/6936>.
6. Siu Hua Chang. (2023) [žiūrėta 2024-03-07]. *Plastic waste as pyrolysis feedstock for plastic oil production: A review*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723013359>.
7. Lietuvos Respublikos Seimas. (2023) [žiūrėta 2025-03-07]. *Oficialus Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas dėl valstybinio atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 m. plano įgyvendinimo, 2023, DĖL VALSTYBINIO ATLIEKŲ PREVENCIJOS IR TVARKYMO 2021–2027 M. PLANO ĮGYVENDINIMO*. Prieiga per internetą: <https://e-seimasx.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/73a8e860483511ee8185e4f3ad07094a?jfwid=1hjca036y>.
8. Evelina MICKEVIČIŪTĖ*, Agnė ŠLEINIŪTĖ, Inna PITAK, Tamari MUMLADZE, Anastasiia SHOLOKHOVA, Gintaras DENAFAS. (2023) [žiūrėta 2025-03-08]. *MORPHOLOGICAL CONTENT AND RECYCLABILITY OF SEPARATE COLLECTED PACKAGES: A CASE STUDY FOR KAUNAS, LITHUANIA*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/357320311_Morphological_content_and_recyclability_of_separate_collected_packages_a_case_study_for_Kaunas_Lithuania.
9. Beata Waszczyłko-Miłkowska, Jolanta Kamińska-Borak, Katarzyna Bernat. (2022) [žiūrėta 2025-03-09]. *A comprehensive review of the pyrolysis process: from carbon nanomaterial synthesis to waste treatment*. Prieiga per internetą: https://sciendo-parsed.s3.eu-central-1.amazonaws.com/64726a8c215d2f6c89dc72fb/10.2478_oszn-2022-0007.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X.
10. Tu Xayachak, Nawshad Haque, Raj Parthasarathy, Sarah King, Nargessadat Emami, Deborah Lau, Biplob Kumar Pramanik. (2022) [žiūrėta 2025-03-10]. *Pyrolysis for plastic waste management: An engineering perspective*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343722017389>.

11. Superior Fixed Bed Reactor Internals. [žiūrėta 2025-03-11]. Prieiga per internetą <https://saiptech.en.made-in-china.com/product/YXxJvFpusRrH/China-Superior-Fixed-Bed-Reactor-Internals.html>.
12. Zahir Barahmand. (2021) [žiūrėta 2025-03-11]. *Design of a Medium-Scale Circulating Fluidized Bed Reactor for Chlorination of Processed Aluminum Oxide*. Prieiga per internetą: <https://easychair.org/publications/preprint/D2Lf>.
13. Mehboob, Mashood. (2018) [žiūrėta 2025-03-11]. *Fluidized Bed Reactor Simulation In Aspen Plus*. Prieiga per internetą: <https://chempds.blogspot.com/2018/11/fluidized-bed-reactor-simulation.html>.
14. R. Miandad, M.A. Barakat, Asad S. Aburiazaza, M. Rehan, A.S. Nizami. (2016) [žiūrėta 2025-03-12]. *Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582016301082>.
15. A. I. Eldahshory, Karim Emara, M. S. Abd-Elhady, M. A. Ismail. (2023) [žiūrėta 2025-03-12]. *Catalytic pyrolysis of waste polypropylene using low-cost natural catalysts*. Prieiga per internetą: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-37769-8>
16. Qiang Xu, Jianhua Zhu, Bencheng Wu, Guangzhou Jin, Yuepeng Liu, Aohan Huang, Chunyu Tian, Yantuo Luo. (2024) [žiūrėta 2025-03-13]. *Enhancing light fuel production through catalytic pyrolysis of municipal mixed plastic waste over activated spent FCC catalyst*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1743967124000345>
17. Laboratory of Energy Systems Research. (2022) [žiūrėta 2025-04-15]. *LITHUANIAN LONG-TERM ELECTRICITY MARKET PRICE PREDICTIONS BASED ON REGRESSION ANALYSIS AND NATURAL GAS FUTURES*. Prieiga per internetą: https://www.aiee.it/iaee_2023/wp-content/uploads/2023/06/138Cesnavicius_abstract.pdf
18. Europos komisija. (2019) [žiūrėta 2025-04-15]. *Pavojingumo ir atsargumo frazės*. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/LT/Safety/HP_LT.htm
19. Corinair. (2021) [žiūrėta 2025-04-16]. *ORRESPONDENCE BETWEEN CORINAIR / NAPFUE 94 AND EUROSTAT FUEL NOMENCLATURE*. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-033-2/TopRep12-96-Annex-2a.pdf>
20. Lietuvos Respublikos Seimas. (2019) [žiūrėta 2025-04-26]. *Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/46c841f290cf11e98a8298567570d639>
21. Lietuvos Respublikos Seimas. (2012) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935?jfwid>
22. Lietuvos Respublikos Seimas. (2001) [žiūrėta 2025-04-26]. *DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 23:2001 „KENKSMINGŲ CHEMINIŲ MEDŽIAGŲ KONCENTRACIJŲ RIBINĖS VERTĖS DARBO APLINKOS ORE. BENDRIEJI REIKALAVIMAI“*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/rs/actualaedition/TAIS.157275/AirCNnwWNb/>
23. Lietuvos Respublikos Seimas. (2012) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=&documentId=TAIS.435935&category=TAD>
24. Lietuvos Respublikos Seimas. (2007) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatų patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.309802>

25. Lietuvos Respublikos Seimas. (2005) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Darbuotojų, dirbančių potencialiai sprogioje aplinkoje, saugos nuostatų patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.263216?jfwid=>
26. Lietuvos Respublikos Seimas. (2016) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Įrangos ir apsaugos sistemų, naudojamų potencialiai sprogioje aplinkoje, techninio reglamento tvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.94529/asr>
27. Lietuvos Respublikos Seimas. (2003) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai" patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
28. Lietuvos Respublikos Seimas. (2014) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 98 : 2000 "Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai"*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>
29. Lietuvos Respublikos Seimas. (2025) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250714/asr>
30. Lietuvos Respublikos Seimas. (2019) [žiūrėta 2025-04-26]. *Lietuvos Respublikos potencialiai pavojingų įrenginių priežiūros įstatymo Nr. I-1324 pakeitimo įstatymas*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/9e0ae3d1ef4011e99ab7ff5a9ea34fcc>
31. Lietuvos Respublikos Seimas. (2005) [žiūrėta 2025-04-26]. *Dėl Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatų patvirtinimo*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877?jfwid=>

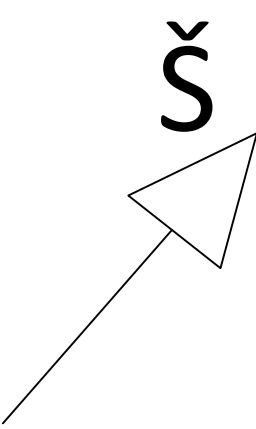
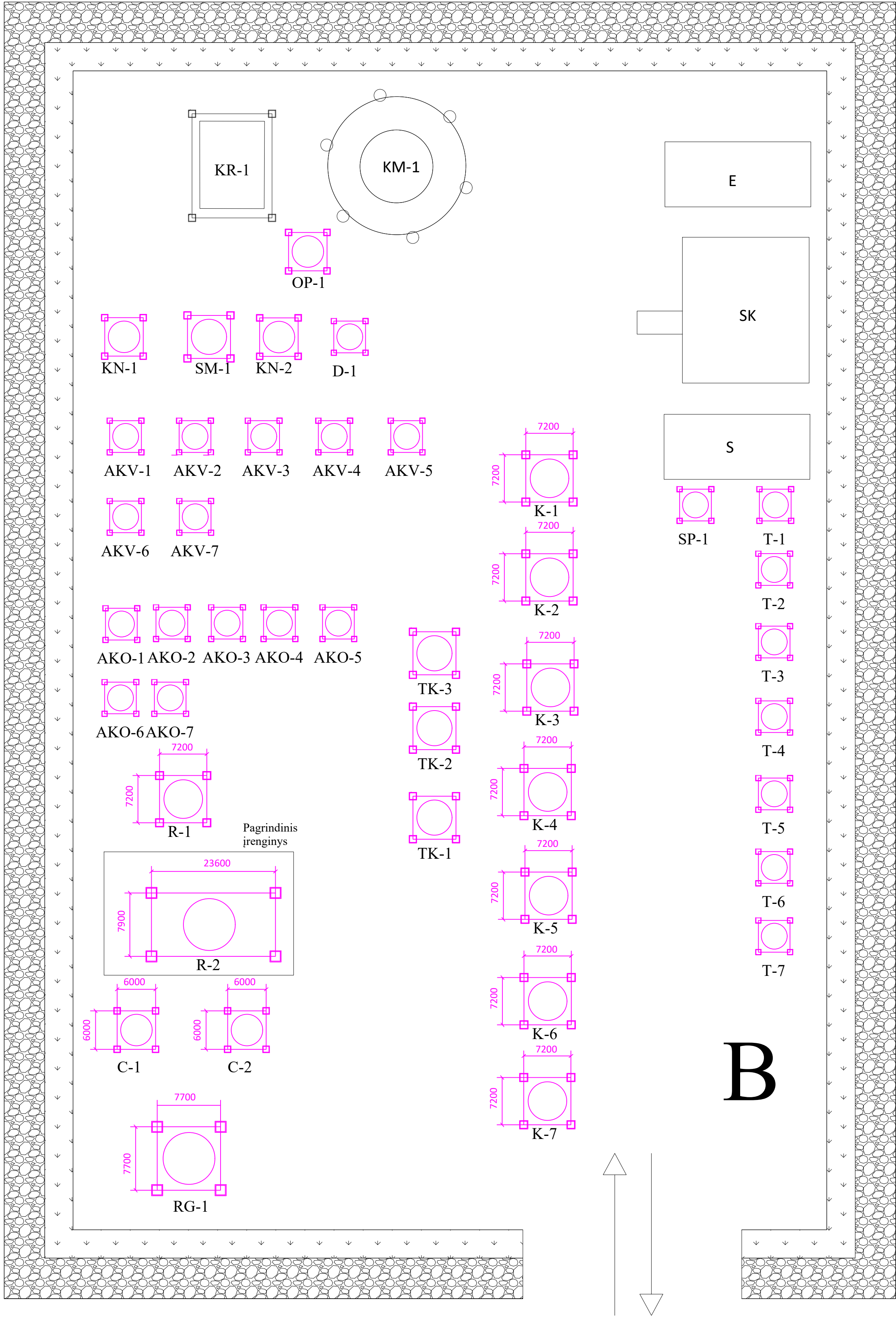
Priedai

- 1 priedas. Finansinės būklės pakitimų ataskaita**
- 2 priedas. Sklypo plano brėžinys**
- 3 priedas. Pirolizės reaktoriaus brėžinys**
- 4 priedas. Plastiko pirolizės įrenginio technologinės schemos brėžinys.**
- 5 priedas. Darbo apimtys patvirtinimai**

1 priedas. Finansinės būklės pakitimų ataskaita

Eil. Nr.	Rodikliai	Projekto gyvavimo metai													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I.	Pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos														
1.1.	Grynasis pelnas (nuostolis)		7,98	8,15	8,32	8,50	8,67	8,86	9,04	9,23	9,43	9,62	9,83	10,03	10,24
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	2,47	4,93	5,04	5,14	5,25	5,36	5,47	5,59	5,70	5,82	5,95	6,07	6,20	6,33
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos	-2,47	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,58	4,65	4,72	4,80	4,87	4,95	5,03	5,11
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos														
2.1	Ilgalaikio turto perleidimas (įsigijimas)	31,46													
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos	-31,46													
III.	Grynieji metiniai pinigų srautai	-33,92	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,58	4,65	4,72	4,80	4,87	4,95	5,03	5,11

Eil. Nr.	Rodikliai	Projekto gyvavimo metai													
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
I.	Pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos														
1.1.	Grynasis pelnas (nuostolis)	10,46	10,68	10,90	11,13	11,36	11,60	11,85	12,09	12,35	12,61	12,87	13,14		
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20		
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	6,46	6,60	6,74	6,88	7,02	7,17	7,32	7,47	7,63	7,79	7,95	8,12		
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos	5,19	5,28	5,36	5,45	5,54	5,63	5,72	5,82	5,91	6,01	6,11	6,22		
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos														
2.1	Ilgalaikio turto perleidimas (įsigijimas)													25,48	
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos													25,48	
III.	Grynieji metiniai pinigų srautai	5,19	5,28	5,36	5,45	5,54	5,63	5,72	5,82	5,91	6,01	6,11	31,70		

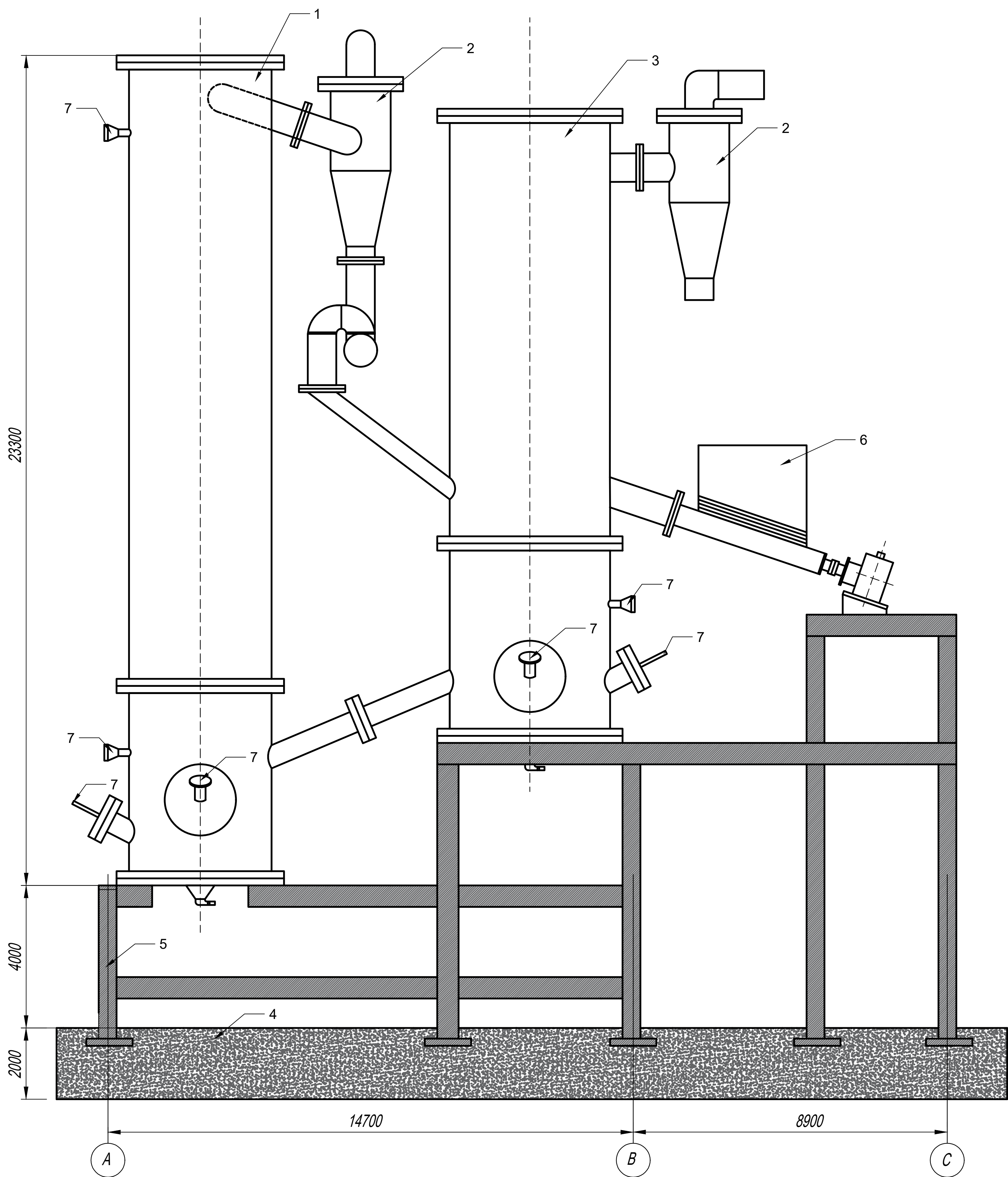


Sutartinis žymėjimas

B	Betonas
	Asfaltas
	Žolė
	Įvažiavimo, išvažiavimo kryptys
	Įėjimo kryptis
	Sklypo riba
	Projektuojami statiniai
	Esantys pastatai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas
1.	Talpykla	T
2.	Siurblinė	S
3.	Kompresorinė	SK
4.	Elektros skydinė	E
5.	Konvėjeris	KN
6.	Smulkintuvas	SM-1
7.	Dechlorinimo reaktorius	R-1
8.	Pirolizės reaktorius	R-2
9.	Katalizatoriaus regeneratorius	RG
10.	Šilumokaičiai	TK
11.	Ciklonai	C
12.	Kaminas	KM
13.	Aušintuvas kondensatorius - orinis	AKO
14.	Kolona	K
15.	Aušintuvas kondensatorius - vandeninis	AKV
16.	Orapūtė	OP

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas				Magistro baigiamasis darbas		
	Studentas	J. Sendrauskas	TMC-3	2025-03-01	Plastiko atliekų pirolizė		
	Konsultantas	lekt. O. Viliūnienė					
	Vadovas	doc. dr. Linas Miknius			Mastelis 1:200		Laida
	Recenzentė	doc. dr. Birutė Grybaitė					102
MBD	Organinės chemijos katedra LT - 50299 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				Sklypo planas		Lapas
							Lapų
							14

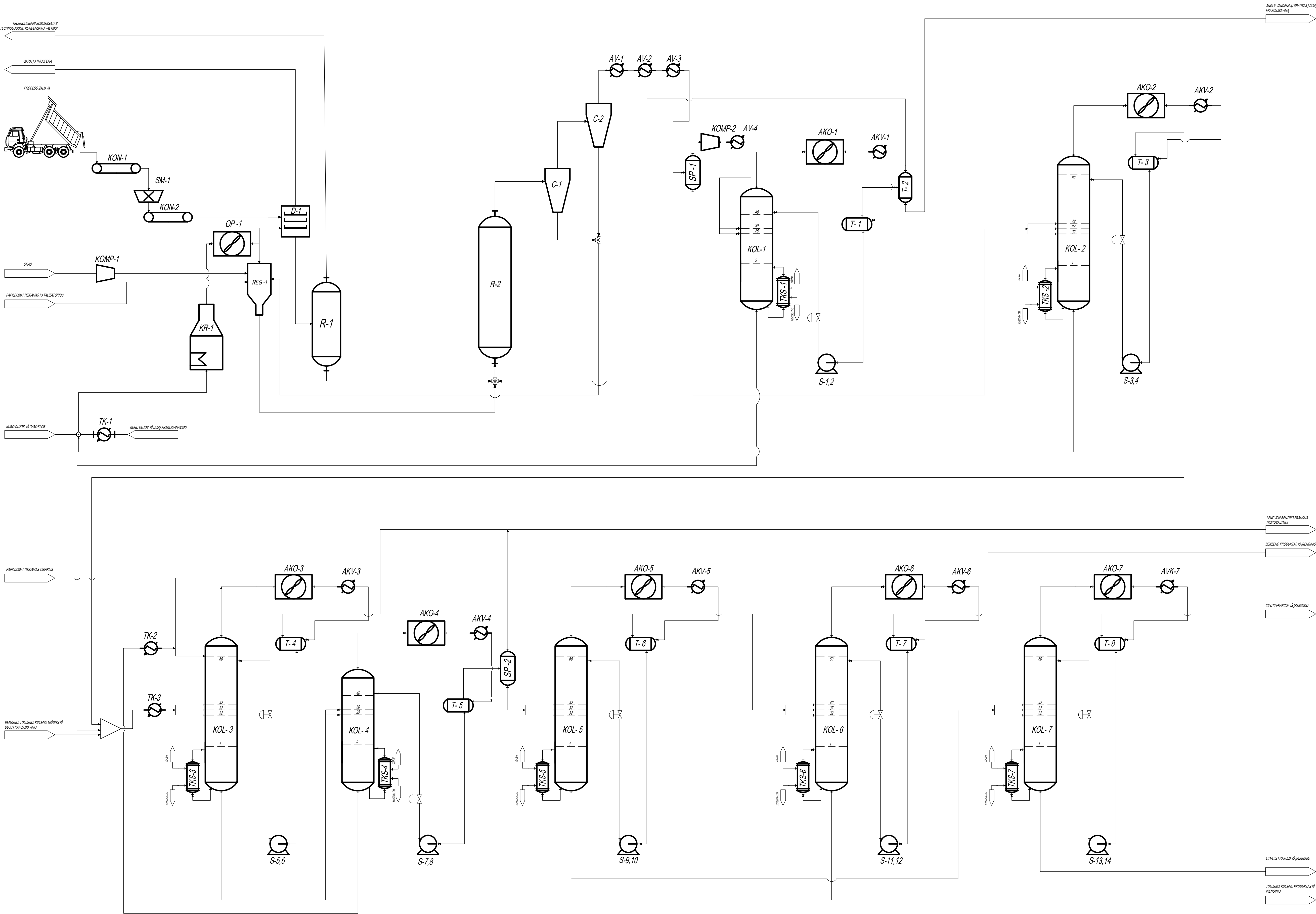


Sutartiniai ženklai

Nr.	Pavadinimas
1.	Kaitinimo kamera
2.	Ciklonas
3.	Dujinimo kamera
4.	Pamatai
5.	Reaktoriaus aptarnavimo platforma
6.	Langas
7.	Atvamzdis

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas				Magistro baigiamasis projektas	
	Studentas	Justinas Sendorauskas	TMC-3 gr.	2025-03-01		
	Konsultantas	doc. dr. O. Vilioniene				Laida
	Vadovas	doc. dr. Linas Miknius				102
	Recenzente	lekt. dr. Birutė Grybaite				
Mastelis	Organinės chemijos katedra, Radvilėnų pl., 19				Pirolizės reaktorius	
1:70					Lapas	Lapų
					2	4





Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas		
	Studentas	Justinas Sandrauskas	TMC-3	2025-04-01	Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu	Laida	
	Vadovas	doc. dr. Linas Miknius				102	
	Recenzentė	doc. dr. Birutė Grybaitė					
	Organinės chemijos katedra, Radvilėnų pl., 19				Technologinė schema	Lapas	Lapų
						4	4

5 priedas. Darbo apimties patvirtinimai

Studento **Justino Sendrausko** baigiamojo magistro projekto „**Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu**“ skyrius „**Darbuotojų sauga ir sveikata**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **doc. dr. Dalia Nizevičienė**



Odeta Viliūnienė

😊 ↩ Reply ↩ Reply all ➡ Forward | 📎 | ...

To: 📧 Justinas Sendrauskas

Mon 26 May 2025 08:43

Studento **Justino Sendrausko** baigiamojo magistro projekto „**Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu**“ skyrius „Statybiniai sprendimai“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas lekt. Odeta Viliūnienė



Gintaras Denafas

😊 ↩ Reply ↩ Reply all ➡ Forward | 📎 | ...

To: 📧 Justinas Sendrauskas

Sun 25 May 2025 21:47

Cc: 📧 Andrius Jaskūnas

Studento **Justino Sendrausko** baigiamojo magistro projekto „**Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Pagarbiai / Sincerely

Prof. dr. Gintaras Denafas
Kauno technologijos universitetas / Kaunas University of Technology
Cheminės technologijos fakultetas / Faculty of Chemical Technology
Aplinkosaugos technologijos katedra / Department of Environmental Technology
Radvilėnų pl. 19, LT-50254, Kaunas, Lietuva / Lithuania
Tel. / mob. +370-698-70760
Fax. +370-37-300152
E-mail: gintaras.denafas@ktu.lt



Irena Pekarskienė

😊 ↩ Reply ↩ Reply all ➡ Forward | 📎 | ...

To: 📧 Justinas Sendrauskas

Tue 27 May 2025 12:50

Laba diena,

šiuo laišku patvirtinu, kad studento **Justino Sendrausko** baigiamojo magistro projekto „**Plastiko atliekų perdirbimas pirolizės būdu**“ skyrius „**Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantė Irena Pekarskienė

Pagarbiai / Best regards

dr. Irena Pekarskienė
Profesorė / Professor

Kauno technologijos universitetas | Kaunas university of technology
Ekonomikos ir verslo fakultetas / School of Economics and Business
Gedimino g. 50-507, LT-44239 Kaunas
irena.pekarskiene@ktu.lt / evf.ktu.edu